



**UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA DE  
CARTAGENA**

**ESCUELA DE  
INGENIEROS DE  
CAMINOS Y DE MINAS**



**MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DEL AGUA Y DEL  
TERRENO**

**PROYECTO FIN DE MASTER**

**OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DE LAS REDES DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE RIEGO DENTRO DEL  
SECTOR 370 DE LA COMUNIDAD DE USUARIOS DE AGUAS DE  
LA COMARCA DE NIJAR (ALMERÍA) MEDIANTE EL  
PROGRAMA INFORMÁTICO EPANET.**

**Autor:**

Pedro Antonio Egea Góngora

Ingeniero Técnico Agrícola

**Bajo la dirección de:**

D. Juan Tomás García Bermejo

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Cartagena, septiembre de 2013



## **RESUMEN**

En el presente estudio técnico presentado en esta Tesina Final de Máster tiene como objetivo principal elaborar un modelo de simulación de la red de distribución de suministro perteneciente al sector 370 de la Comunidad de Usuarios de aguas de la Comarca de Níjar (Almería) y su optimización. Debido a su complejidad, se pretende que sirva de guía para futuras actuaciones en sucesivos sectores de la propia comunidad de usuarios o análogos.

En este contexto, se presentan los fundamentos teóricos y los procedimientos más relevantes utilizados para la implementación de un modelo como herramienta de ayuda a la toma de decisiones.

Se muestra la base para la elaboración del modelo con el programa informático EPANET, recopilación de datos, construcción y proceso de análisis de resultados. Una vez concluida la optimización se realiza un resumen de actuaciones futuras a acometer para conseguir maximizar los beneficios de la optimización.

**Palabras Clave:** Modelo, Optimización, Demanda, Epanet, Tuberías

## **ABSTRACT**

In this technical study presented in this Final Master Thesis the main objective is to develop a simulation model of the supply distribution network belonging the sector 370 of the Comunidad de Usuarios de aguas de la Comarca de Níjar (Almería) and optimization. Due to its complexity, is intended as a guide for future action in successive sectors of the community of users or the like.

In this context, it is presented the theoretical bases and relevant procedures used for the implementation of a model as a support tool for a decision making.

It shows the basis for the development of the model with EPANET software, data collection, construction and performance analysis process. Once the optimization has done show a summary of future actions to be undertaken in order to maximize the benefits of optimization.

**Key words:** Model, Optimization, Demand, Epanet, Pipes

## CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>7</b>  |
| 1.1.- Justificación .....   | 7         |
| 1.2.- Antecedentes .....  | 7         |
| 1.3.- Objetivos .....   | 8         |
| 1.4.- Estructura de la tesina.....  | 8         |
| <b>CAPITULO 2.- DEFINICION Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE RIEGO<br/>DE LA CUCN .....</b> | <b>10</b> |
| 2.1.- Información previa .....  | 10        |
| 2.2.- Criterios funcionales del telecontrol de la CUCN .....                            | 12        |
| 2.2.1.- Criterios funcionales sobre hidrantes de riego .....                            | 15        |
| 2.2.2.- Criterios funcionales sobre válvulas hidráulicas de distribución .....          | 17        |
| 2.2.3.- Otros criterios funcionales .....   | 20        |
| 2.3.- Sector 370 “paraje Los Morenos” .....   | 20        |
| <b>CAPITULO 3.- EPANET .....</b>  | <b>24</b> |
| 3.1.- ALGORITMOS DEL ANÁLISIS .....   | 24        |
| 3.2.- OPCIONES DE CÁLCULO.....  | 26        |
| 3.2.1.- Unidades de Caudal .....  | 27        |
| 3.2.2.- Fórmula de Pérdidas .....   | 27        |
| 3.2.3.- Peso Específico Relativo.....   | 27        |
| 3.2.4.- Viscosidad Relativa .....   | 27        |
| 3.2.5.- Máximo Iteraciones .....  | 27        |
| 3.2.6.- Precisión.....  | 27        |
| 3.2.7.- Caso de No Equilibrio.....  | 27        |
| 3.2.8.- Factor de Demanda .....   | 28        |
| 3.2.9.- Exponente de los Emisores .....   | 28        |
| 3.2.10.- Informe de Estado .....  | 28        |
| 3.3.- ELEMENTOS EN EPANET .....   | 28        |



|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.1.- Nodo.....   | 28        |
| 3.3.2.- Embalse.....  | 28        |
| 3.3.3.- Tubería.....  | 28        |
| 3.3.4.- Válvulas .....  | 28        |
| <b>CAPITULO 4.- ELABORACIÓN DEL MODELO .....</b>  | <b>30</b> |
| 4.1.- Introducción .....  | 30        |
| 4.2.- Nodo.....   | 30        |
| 4.3.- Embalse .....   | 30        |
| 4.4.- Tubería .....   | 31        |
| 4.5.- Válvulas .....  | 31        |
| 4.6.- Fondo de pantalla.....  | 31        |
| 4.7.- Construcción del árbol .....  | 32        |
| <b>CAPITULO 5.- SIMULACIÓN DEL MODELO.....</b>  | <b>33</b> |
| 5.1.- Presentación del modelo .....   | 33        |
| 5.1.1.- Límite de presiones .....   | 33        |
| 5.1.2.- Límite de velocidad.....  | 33        |
| 5.2.- Modos de simulación .....   | 34        |
| 5.3.- Simulación con conexiones cerradas .....  | 34        |
| 5.4.- Simulación con conexiones abiertas .....  | 39        |
| 5.5.- Resultados del análisis del modelo .....  | 43        |
| 5.6.- Optimización de la red de distribución de riego .....                                 | 49        |
| 5.7.- Finalización técnica del trabajo .....  | 50        |
| <b>CAPITULO 6.- CONCLUSION.....</b>   | <b>51</b> |
| <b>CAPITULO 7.- BIBLIOGRAFIA.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>ANEXO N°1:</b> Desglose de la demanda de la red de distribución                          |           |
| <b>ANEXO N°2:</b> Desglose de tuberías de la red de distribución del sector 3780 de la CUCN |           |
| <b>ANEXO N°3:</b> Planos de la red de distribución del sector 370 de la CUCN                |           |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Imagen 1:</b> Ortofoto de las redes de distribución de agua de ACUAMED-CUCN.....   | 11 |
| <b>Imagen 2:</b> Sistema de telecontrol de la CUCN.....   | 12 |
| <b>Imagen 3:</b> Estación Concentradora nº 30, sector 370.....  | 14 |
| <b>Imagen 4:</b> Sistema de telecontrol durante la detección de toma fraudulenta.....   | 15 |
| <b>Imagen 5:</b> Detalle de arqueta de hidrantes.....   | 16 |
| <b>Imagen 6:</b> Conjunto de arquetas de inicio de sector, de izquierda a derecha: telecontrol, inicio de sector y válvulas motorizadas.....  | 17 |
| <b>Imagen 7:</b> Detalle de la arqueta de inicio de sector S370.....  | 18 |
| <b>Imagen 8:</b> Detalle de válvula de sectorización (válvula nº12).....  | 19 |
| <b>Imagen 9:</b> Ubicación de válvula de sectorización nº12.....  | 19 |
| <b>Imagen 10:</b> Ubicación del Sector 370.....   | 21 |
| <b>Imagen 11:</b> Ortofoto del ámbito de distribución del Sector 370.....   | 21 |
| <b>Imagen 12:</b> Balsa del Jabonero nº4 (CUCN) y al fondo la balsa de Inox (ACUAMED)....   | 22 |
| <b>Imagen 13:</b> Mapa de contorno de cotas del Sector 370.....   | 23 |
| <b>Mapa de contorno 1:</b> Resultados de la simulación funcionamiento normal sin demanda.   | 35 |
| <b>Mapa de contorno 2:</b> Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca de presión de tarado.....                                       | 36 |
| <b>Mapa de contorno 3:</b> Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 50 mca de presión de tarado.....                                       | 37 |
| <b>Mapa de contorno 4:</b> Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula 12 con reducción a 35 mca de presión de tarado.....   | 38 |
| <b>Gráfica 1:</b> Distribución de velocidad de las tuberías con respecto el total.....  | 39 |
| <b>Mapa de contorno 5:</b> Redes del Sector 370 con respecto a la velocidad.....  | 40 |
| <b>Mapa de contorno 6:</b> Resultados de la simulación con demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula 12 con reducción a 35 mca de presión de tarado.....   | 41 |
| <b>Mapa de contorno 7:</b> Resultados de la simulación con demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula nº12 con reducción a 50 mca de presión de tarado..... | 42 |
| <b>Mapa de contorno 8:</b> Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula nº12 con reducción a 50 mca de presión de tarado..... | 43 |
| <b>Tabla de Red 1-</b> Nudos.....   | 44 |
| <b>Tabla de Red 2-</b> Líneas.....  | 46 |
| <b>Tabla de Red 3-</b> Válvulas.....  | 48 |



# CAPITULO 1.-INTRODUCCIÓN

## 1.1.- Justificación

Toda entidad pública o empresa, para su buen funcionamiento, debe ser gestionada, esto indica que debe planificar, organizar, dirigir y controlar todas sus actividades. Para una buena gestión existen diferentes herramientas y procesos, como un modelo adecuado de la realidad; contar y manejar una cantidad limitada y bien relacionada de datos, obtener puntos de funcionamiento de acuerdo a diferentes situaciones de gestión y obtener información para la toma de decisiones.

La Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar (en adelante, CUCN) cuenta con los medios iniciales para un correcto control de sus redes. Una vez terminada la fase constructiva de las redes y el sistema de telecontrol, se pueden apreciar diferencias entre las previsiones de funcionamiento realizadas en el proyecto constructivo y los cinco años de puesta en servicio de sus instalaciones.

Con la presente tesina se busca optimizar un sector de riego (Sector 370) lo suficientemente amplio, ejecutando una comprobación de todas las posibles variables observadas en el funcionamiento hidráulico para considerar si es necesario reajustar todos los parámetros usados por la gestión de la CUCN y con ello, garantizar un correcto funcionamiento de la red.

## 1.2.- Antecedentes

La CUCN es la entidad pública encargada de gestionar la distribución de agua a sus usuarios proveniente de la desaladora de Carboneras regulado por el convenio con ACUSUR del 17 de febrero de 2000.

La procedencia del agua para riego (mediante desalación) y ser un proyecto de nueva implantación (no existía ninguna instalación antes de la realización del proyecto) ha conllevado una serie de premisas a cumplir para una correcta utilización del agua como son:

### **-Suministro de agua a comuneros de forma ininterrumpida:**

Con la ubicación y distribución de las siete balsas de acopio de agua para riego se evita re-bombear el agua proveniente de la balsa de cabecera de ACUAMED (Balsa Venta del Pobre), consiguiendo una estabilización del sistema.

### **-Limitación de caudales suministrados por comunero:**

El caudal de referencia se tomó en 0.3 l/s y Hectárea reservada. Con este caudal de referencia se insta a los agricultores a tener abierto el hidrante permanentemente (en épocas de alto consumo) disminuyendo los ciclos de consumo noche-día, y con ello la disminución de secciones de tubería al tener un caudal máximo por ramal inferior y un mayor control sobre la red de abastecimiento.

#### **-Sistema de telecontrol:**

La gestión del agua desalada es fundamental para evitar su encarecimiento, dotándose de un sistema de telecontrol que facilite la explotación y su automatización.

### **1.3.- Objetivos**

El agua desalada es un recurso inagotable pero a su vez tiene un alto coste de producción en referencia a otras fuentes de agua. Para que sea un recurso viable es necesario un estricto control de su gestión para así garantizar el suministro con los menores sobrecostes posibles a su utilización. Los sistemas de abastecimientos deben invertir importantes esfuerzos en esta labor, tediosa pero necesaria si se busca gestionar de manera eficiente el recurso natural.

Una de las herramientas indispensables en este tipo de gestión son los modelos hidráulicos. Son una solución económica para la optimización de redes existentes pudiendo analizar, realizar y proponer mejoras al sistema y con ello gestionar las instalaciones con bases confiables.

Con el presente trabajo se busca la optimización del sector 370 perteneciente a la CUCN usando el programa informático EPANET, usando datos recopilados por el telecontrol de caudales, presiones y averías desde 2008.

Además, desarrollar el modelo en software Epanet, que sirva para fijar las consignas de regulación de la red y para entrenamiento y formación del personal técnico de la CUCN.

### **1.4.- Estructura de la tesina**

La presente tesina se encuentra dividida en 7 capítulos, a lo largo de los cuales se describen conceptos y procesos necesarios para el desarrollo de la misma.

En un primer capítulo se justifica la realización de la presente tesina, y se exponen los objetivos que se buscan al finalizar el trabajo.

En un segundo capítulo se realiza una presentación de la Comunidad de Usuarios de aguas de la Comarca de Níjar, definiendo su demarcación y funcionamiento, y en concreto, el sector a tratar.

En el siguiente capítulo se expone específicamente el software Epanet como herramienta para la construcción de modelos hidráulicos.

En un cuarto capítulo se detallan procesos para elaboración del modelo, elementos presentes en la red de suministro y su definición para la implementación en Epanet, información necesaria para su elaboración, y límites impuestos para la optimización.

En la siguiente parte de la tesina se presenta el caso en estudio, la optimización de las redes de distribución de agua pertenecientes al sector 370 “Los Morenos”. Paso a paso se irán realizando las correspondientes modificaciones en el modelo guiados por los análisis obtenidos de la simulación en Epanet para conseguir una optimización de las redes dentro de los parámetros previamente establecidos.

En un siguiente capítulo se anotan las principales conclusiones del presente trabajo. Finalmente en el capítulo 7 se enumera una bibliografía consultada para el desarrollo de la tesina.

Adicionalmente se presentan unos anexos a la memoria, en los cuales se muestran la información necesaria para la elaboración del modelo como son los datos de demanda por nodo, las características de las tuberías existentes en las redes y los planos necesarios para la construcción del modelo.

## CAPITULO 2.- DEFINICION Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE RIEGO DE LA CUCN

### 2.1.- Información previa

La Comunidad de Usuarios de Aguas de la Comarca de Níjar se constituyó en los años 90 motivada por la problemática respecto al agua debida fundamentalmente a la sobre explotación del acuífero 06.11 ubicado en la zona sureste almeriense, concretamente en los términos municipales de Almería, Carboneras, Lucainena de las Torres, Sorbas y principalmente Níjar. Esta zona tiene una agricultura intensiva basada fundamentalmente en cultivos de invernadero con utilización principal del agua subterránea y en menor medida la recogida de pluviales de las explotaciones, teniendo las siguientes características:

- Nivel de tecnificación elevado
- Uso eficiente del agua
- Sistemas de cultivo intensivo

Para evitar la disminución de capacidad agronómica de la zona y con ello la competitividad de los agricultores motivada por la mala calidad de las aguas subterráneas se proyectó la construcción de la desaladora de Carboneras con la finalidad de:

- Mantener la actividad agrícola
- Mejora de la producción hortofrutícola
- Mejora de la competitividad con otras zonas de cultivo
- Diversificación de cultivos
- Mantener y recuperar el acuífero disminuyendo las extracciones de agua subterránea

Los agricultores cuentan con dos tipos de aguas:

**-Aguas subterráneas:** se extraen mediante sondeos particulares o bien constituidos por comunidades de bienes (pozos catalogados en aguas privadas). La característica principal es la disminución de los caudales en las zonas de cabecera del acuífero y la mala calidad de las aguas en el resto siendo incluso salobre por debajo de la cota 100 del terreno. El coste al agricultor oscila entre 15 y 25 céntimos de euro por metro cubico de agua extraída.

**-Agua procedente de desalación:** Estas aguas son de baja conductividad (0.6-0.8 dS/m) proveniente de la desaladora de Carboneras. Se suelen acopiar en la misma balsa de recogida de pluviales contando así con dos balsas: una para aguas subterráneas y otra para desalada y pluviales. El precio del agua es de 0.52 euros/m<sup>3</sup>.

Antes de contar con agua desalada, los agricultores se suministraban a través de desalobradoras particulares mejorando la calidad del agua subterránea de riego pero con un grave riesgo por el mal uso de las salmueras.

Al disponer de agua desalada, los agricultores están amortizando las infraestructuras realizadas para tal fin como son:



- Siete balsas de regulación
- 700 Km de tuberías
- Centro de control y nave de acopio de materiales

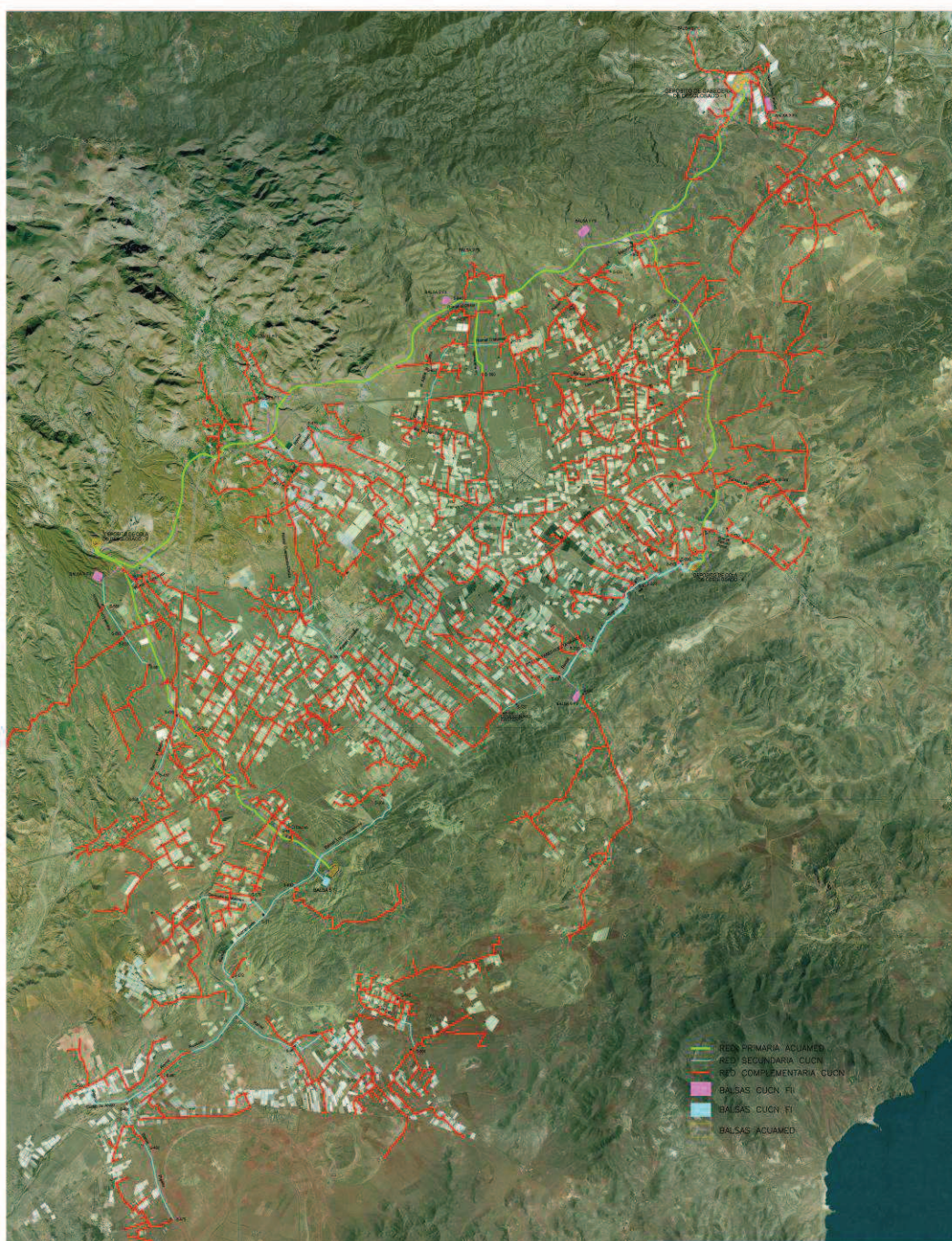


Imagen 1: Ortofoto de las redes de distribución de agua de ACUAMED-CUCN



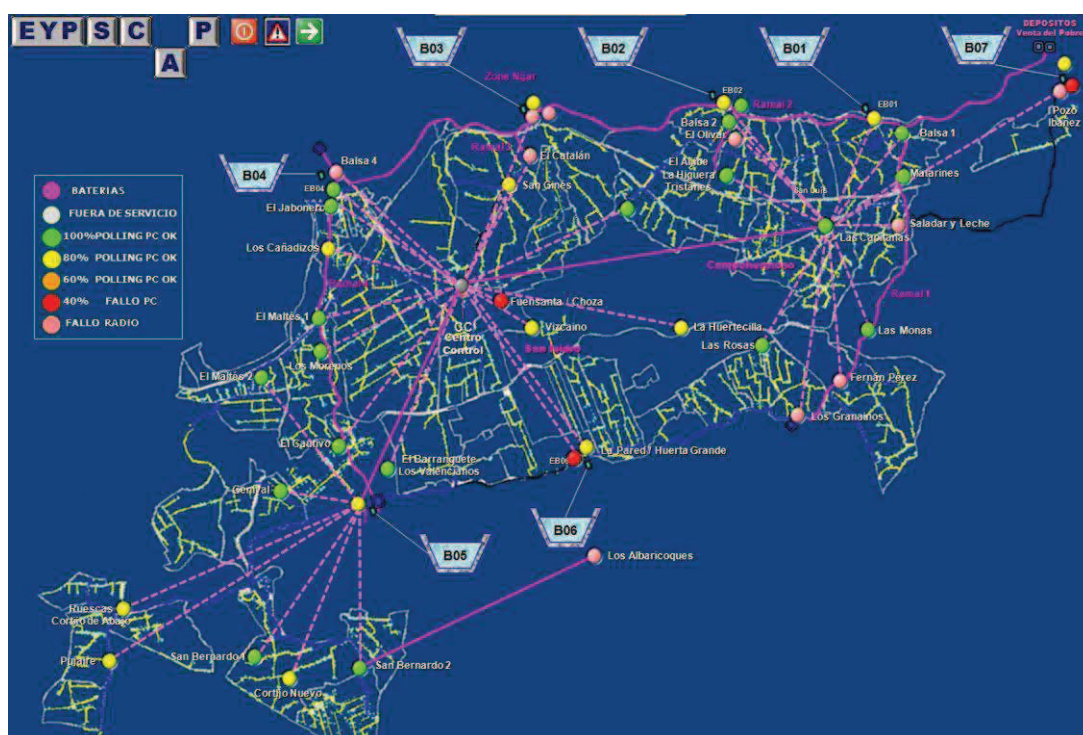
## 2.2.- Criterios funcionales del telecontrol de la CUCN

En la actualidad, la CUCN cuenta con 8665 Hectáreas de reserva, 2211 comuneros y equipo de trabajo de ocho personas:

- Gerente/presidente de la CUCN
- Dos administrativos
- Dos técnicos de explotación
- Técnico de comunicaciones
- Dos operarios

En comparación con otras comunidades de usuarios, la CUCN cuenta con un sistema de telecontrol diseñado para reducir y facilitar el trabajo cotidiano basándose principalmente en:

- Toma de datos cada diez minutos
- Análisis de los datos recibidos
- Procesado de los datos con actuación sobre los instrumentos en caso de estar fuera de los límites fijados
- Generación de informe de alarma y envío al terminal del técnico vía sms.



**Imagen 2: Sistema de telecontrol de la CUCN**

La transmisión de los datos se realiza mediante una solución heterogénea Cable-Radio, radio (de baja, media y alta potencia) y GPRS/UTMS (telefonía móvil digital) en momentos puntuales de fallo eléctrico, distribuyendo elementos inteligentes en los puntos críticos de la red y dotándolos de autonomía.

El Sistema Integral de Regadíos está compuesto por los siguientes elementos:

**-Centro de Control y Mantenimiento del Sistema (CC):**

El CC se localiza en el Centro Geográfico de la Red en el paraje “Cortijo El Campillo”. Se compone de los siguientes elementos:

- Terminales de Operación,
- Servidores Redundantes de la Aplicación de Control y Automatización,
- Servidor de la Aplicación de Gestión [Gestión de Comunidad, GIS, Contabilidad y Facturación],
- Front – End de comunicaciones radio. [Modem Radio, GSM/GPRS],
- Acometida Eléctrica en Baja Tensión y Sistema de Alimentación Ininterrumpida.

**-Estaciones Concentradoras de Ramales y Sectores (EC):**

Las EC se localizan en las entradas de los Ramales, Tomas de la red en Alta de ACUAMED (S370) y en las Cabeceras de los Sectores de Agrupación de Válvulas. Se compondrá de los siguientes elementos:

- Terminal Radio [Modem Radio, GSM/GPRS],
- Procesador de Comunicaciones y Control de Cabecera de Ramales y Sectores [PCC],
- Equipamiento de Cabecera. [Electro válvula, Contador Digital CZ-Bus, Sensor de Presión, etc.],
- Cabecera de Agrupación para control remoto de Válvulas y Contadores [CAV],
- Acometida Eléctrica en Baja Tensión y Sistema de Alimentación Ininterrumpida.

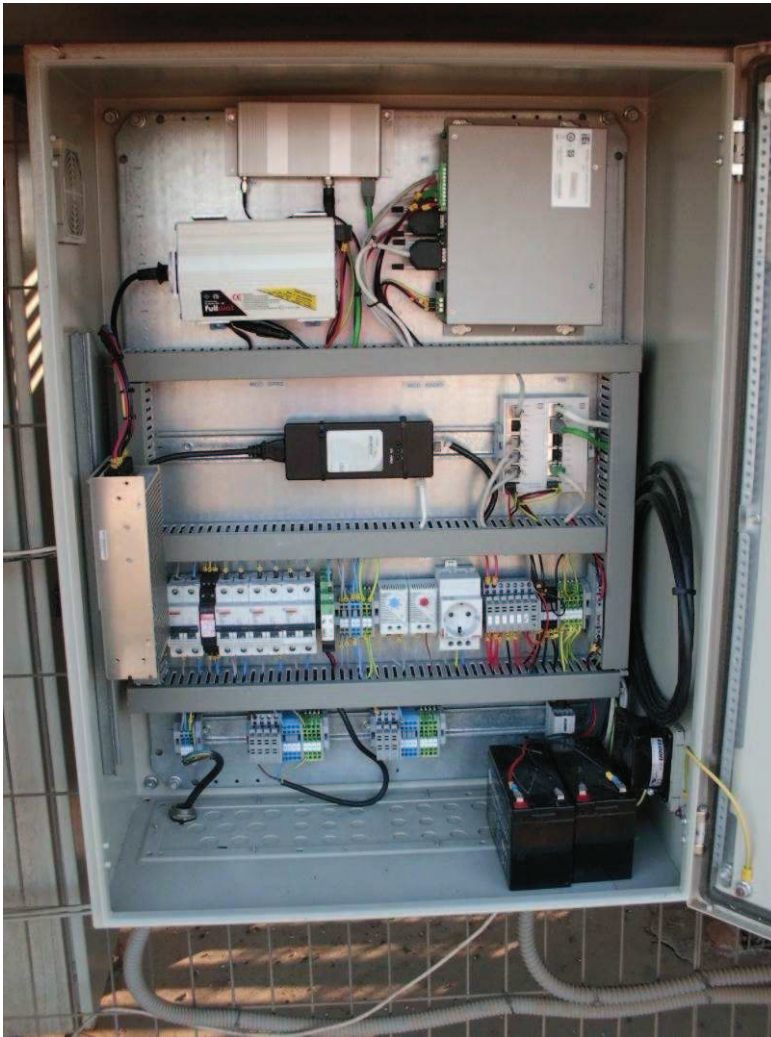


Imagen 3: Estación Concentradora nº 30, sector 370

### **-Módulos de Campo (MC)**

Los MC se localizarán en los hidrantes y otros elementos de control en balsas, válvulas, etc. Se compondrán de los siguientes elementos:

Armario de Control de Riego,  
Módulo de Control de Válvulas [MCV],  
Equipamiento de Campo. [Electro válvula, Contador Digital CZ-Bus,  
Sensor de Presión para sectorizaciones, etc.]

La comunicación entre los distintos elementos se realiza de la siguiente forma:

- Enlaces radio/microondas entre Centro de Control y Concentradoras de Ramales y Sectores, con respaldo de comunicación mediante terminales GSM / GPRS.
- Enlaces mediante cable Bus entre Concentradores y Módulos de Campo.

La energía eléctrica de dichos elementos se realiza de la siguiente forma:

-Conexión a la Red Eléctrica en el Centro de Control con autonomía ante fallos del suministro eléctrico durante al menos 24 Horas.

-Conexión a la Red Eléctrica en las Estaciones Concentradoras, con autonomía ante fallos del suministro eléctrico durante al menos 24 Horas.

-Alimentación de los Módulos de Campo a través del cable Bus.



Imagen 4: Sistema de telecontrol del sector 370 durante la detección de toma fraudulenta

Como se muestra en la imagen nº4, el sistema de telecontrol detectó una diferencia de caudales entre el inicio de sector y la sumatoria de hidrantes de aproximadamente 9 l/s. Una vez recibida la alarma, se localizó una toma fraudulenta conectada en un pozo de registro. Al anular la toma se restableció el balance y con él, los caudales.

## 2.2.1.- Criterios funcionales sobre hidrantes de riego

Los hidrantes de riego están compuestos por los siguientes elementos:

-**Llave de corte manual:** normalmente llave de esfera

-**Reductor de presión:** evita que un exceso de presión pueda ocasionar averías en las instalaciones particulares de los comuneros.

-**Contador:** son contadores que mediante software avanzado, son capaces de almacenar la lectura total y un histórico de caudales. El funcionamiento es mediante un sensor electrónico que detecta el giro de la única pieza móvil (turbina) y envía la señal al microprocesador para que interprete y comunique la información digital a través del visor LCD y los conectores. El sistema de telecontrol recoge la información de la lectura total actualizada cada diez minutos.



-**Electro válvula:** válvula hidráulica pilotada para realizar aperturas y cierres mediante impulso eléctrico desde el sistema.

-**Detector de flujo:** Interruptor eléctrico que nos informa de si existe paso de flujo o no en el hidrante.

-**Limitador de caudal:** para evitar que el contador pueda trabajar fuera del rango de caudales para el cual está diseñado, dentro del hidrante se coloca un orificio que según el caudal máximo será de un tamaño u otro.

En hidrantes a partir de dos pulgadas de sección, el reductor de presión y limitador de caudal se encuentran reguladas dentro del pilotaje de la electro válvula.

Los hidrantes se agrupan en campo en arquetas de hidrantes de hasta cuatro hidrantes de riego conectados a un mismo equipo de transmisión de datos (MCV) que se comunicará cada ciclo de lecturas con la concentradora a través de cable BUS de comunicación y la concentradora vía radio al centro de control.



Imagen 5: Detalle de arqueta de hidrantes

El sistema de telecontrol obtiene del hidrante la siguiente información:

- Lectura del contador
- Estado del detector de flujo (A/C)

Con estos datos y cada diez minutos, el telecontrol calcula el caudal de cada hidrante con la lectura anterior en litros por segundo y si existe paso de agua.

Existen dos tipos de cierres en hidrantes de riego:

**-Cierres por caudal:** El contador está funcionando por encima del valor fijado de alarma, que normalmente es:

$$Q_{alarm}=1.2 \times Q_{nominal}$$

**-Cierres por flujo:** estos cierres son por funcionamiento de contador o detector de flujo pudiendo mandar la orden de cierre a la electro válvula si el contador no cuenta y existe paso de flujo (cierre por avería en contador) o el contador tiene incremento de lectura y el flujo no ha detectado paso de agua (cierre por avería en detector de flujo)

En el caso de que se mandara una orden de cierre y el sistema continuase tomando el mismo cierre, se genera la alarma de fallo en cierre de válvula.

### 2.2.2.- Criterios funcionales sobre válvulas hidráulicas de distribución

Existen tres tipos de válvulas dentro de la red de distribución:

**-Válvulas de inicio de sector:** Son las válvulas hidráulicas de corte general del sector. Esta válvula es la encargada de regular presiones, limitar el caudal máximo o el caudal de avería mediante pilotaje hidráulico. Son normalmente válvulas de gran tamaño (hasta 16”) y su mantenimiento es periódico.



Imagen 6: Conjunto de arquetas de inicio de sector, de izquierda a derecha: telecontrol, inicio de sector y válvulas motorizadas.



**Imagen 7: Detalle de la arqueta de inicio de sector S370: Ventosa, cazapiedras, caudalímetro, válvula hidráulica , válvula de corte manual con by-pass y ventosa.**

**-Válvulas de sectorización de sector:** Son válvulas de ramificación del sector de riego. Constan de llaves de corte manual para mantenimiento, válvula hidráulica y ventosa, normalmente instaladas en pozos de registro subterráneos. Estas válvulas tienen un pilotaje sencillo de apertura/cierre.





Imagen 8: Detalle de válvula de sectorización (válvula nº12)

**-Válvulas de corte manual:** Debido a posteriores ampliaciones o a necesidades de suministro de agua provisional sin que estuviera terminada la red de distribución de riego se instalaron válvulas de corte manual sin telecontrolar. El uso de estas válvulas está restringido a actuaciones de emergencia.



Imagen 9: Ubicación de válvula de sectorización nº12



Las válvulas cuentan con dos transmisores de presión instalados antes y después de la válvula. En cada ciclo de lecturas, el telecontrol recibe la información de presiones de cada válvula de sectorización y la de inicio de sector y el último estado de actuación de la válvula (abierto/cerrado). Una vez recibida la información existen dos tipos de cierre de válvulas:

**-Cierre por sobrepresión en válvula:** estos cierres son provocados por superar el valor fijado de alarma, pudiendo provocar averías aguas abajo.

**-Cierre por caída de presión en válvula:** debido a una posible rotura de las tuberías, el comportamiento normal de la red de distribución es la caída de presiones generalizada. Esto es causado a las pérdidas de carga por una velocidad alta de flujo de agua y las restricciones de caudal impuestas en la válvula de inicio de sector. Los límites de alarma se han establecido como valores fijos estándar.

Los límites de alarma de cada válvula no se han calculado pormenorizadamente, por lo que dentro de la optimización de presiones se realizará un ajuste de cada una de las válvulas para ajustar así el sistema.

### **2.2.3.- Otros criterios funcionales**

Además de los criterios vistos, el sistema de telecontrol realiza las siguientes actuaciones en el mismo sector:

**-Cierre por desequilibrio de caudal:** el sistema realiza una sumatoria de caudales de hidrantes y los enfrenta al de inicio de sector. Si la diferencia de caudales supera un umbral fijado, el sistema generará una alarma sin cierre de sector. Si este desequilibrio se prolonga al siguiente ciclo, el sistema cierra el sector. Este cierre es el normalmente usado para detectar posibles averías o fugas pequeñas y tomas fraudulentas.

**-Sensores de nivel:** estos sensores están colocados para informar de los niveles máximo y mínimo de las balsas como también actúan como sensores de inundación dentro de las arquetas subterráneas.

**-Detectores de intrusismo:** Informan de la apertura de puertas de arquetas de hidrantes o compuertas de arquetas subterráneas.

**-Errores de comunicación:** se generan históricos de alarmas por fallos de comunicación con equipos de transmisión, recepción y envío de información.

### **2.3.- Sector 370 “paraje Los Morenos”**

El sector de riego a estudiar se sitúa entre las localidades de San Isidro y El Viso dentro del municipio de Níjar. La superficie total que abarca el sector es de 700 Has, siendo la reserva total solicitada por los comuneros de 398,71 Has equivalente a 1,4 Hm<sup>3</sup> de agua y año. La longitud total de tuberías de la red de distribución del sector es aproximadamente de 22 kilómetros.



Imagen 10: Ubicación del Sector 370

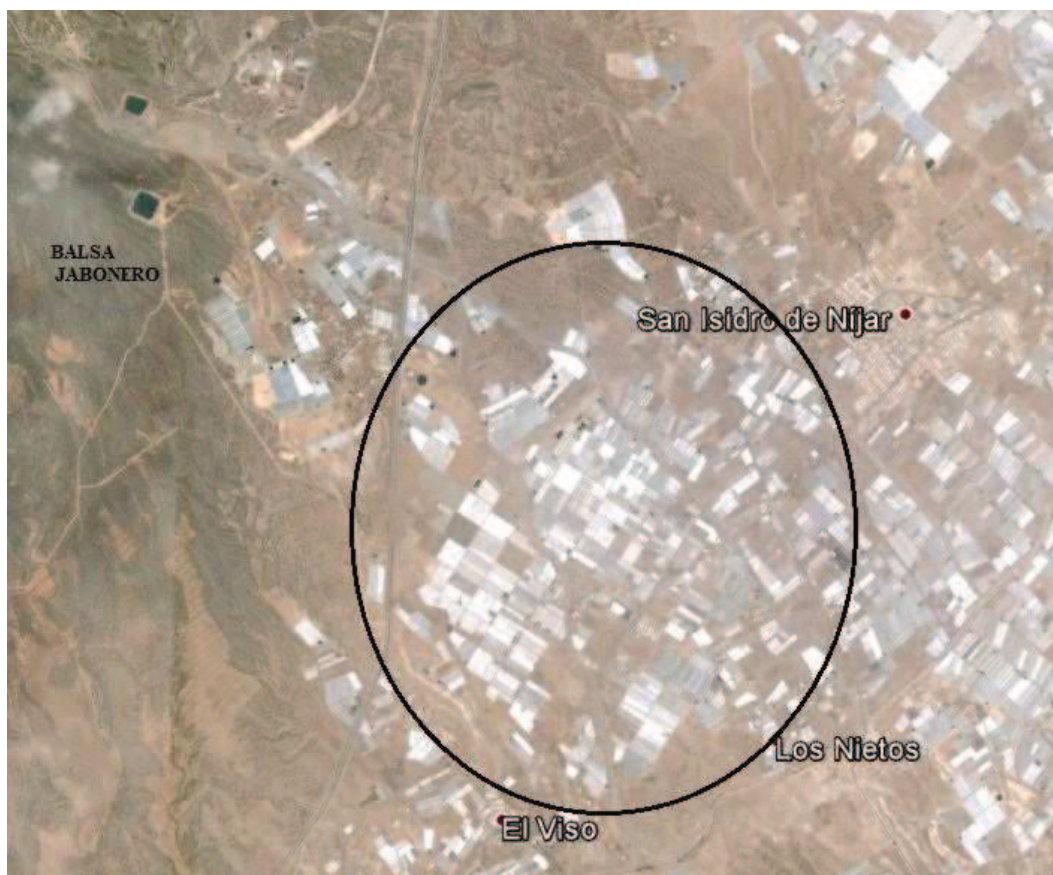


Imagen 11: Ortofoto del ámbito de distribución del Sector 370



Las aguas subterráneas son de baja calidad, siendo peores en la zona Sur-Este con calidades de hasta 10 dS/m. Este hecho hace que sea necesaria la distribución de agua desalada, siendo el caudal medio en el periodo 2009-2012 de 20 l/s en continuo.

El agua viene a través del ramal n° IV de ACUAMED desde la balsa del Jabonero n°IV con una capacidad máxima de 165000 m<sup>3</sup>, cota mínima de funcionamiento de 225 metros y altura efectiva de nueve metros de llenado.



**Imagen 12: Balsa del Jabonero nº4 (CUCN) y al fondo la balsa de Inox (ACUAMED)**

Por tanto, para realizar el estudio tenemos que la lámina de agua máxima y mínima será de 234 y 226 respectivamente, teniendo un diferencial máximo de presión en la entrada del inicio de sector de 0,8 bares.

La cabecera del sector se encuentra a cota 121, situándose a poniente de la red de distribución de aguas, teniendo la cota máxima de suministro a 160 metros en la zona norte-oeste y la mínima a 91 metros en la zona sur del sector. La mayor parte de las tuberías son de polietileno de alta densidad de timbraje 10 y 16 atm, siendo las generales de PVC de 16 atm de timbraje y Fundición Dúctil de 20 atm.



**Imagen 13: Mapa de contorno de cotas del Sector 370**

Otra condición a la hora de realizar el cálculo es el timbraje de las tuberías de las tomas, desde la arqueta de hidrantes hasta pie de parcela, siendo estas de PEAD de 10 atm de timbraje, con lo que sería conveniente no sobrepasar esta presión en la red de distribución, porque si bien existe un reductor de presión dentro del hidrante, estos pueden fallar, por avería o por un mal cierre por parte de los comuneros, igualando las presiones de la red en la toma y con ello pudiendo provocar posibles averías. Al ser tomas de pequeña sección, más del 90% de las tomas se encuentran entre 32-50 mm de sección, y un caudal bajo con respecto al total del sector no se han apreciado golpes de ariete al cierre de tomas de los comuneros, exigiendo por parte de la comunidad la instalación de llaves de corte de compuerta en las tomas para secciones a partir de 63 mm para evitar este hecho en la medida de lo posible.

Para el cálculo de suministro por arqueta de hidrantes se ha realizado una tabla con cada toma (ver anexo), su reserva de agua y un caudal de suministro de 0,3 l/s por hectárea reservada. Con este dato podremos tener el caudal máximo reservado por conexión dentro de la aplicación de Epanet.

## CAPITULO 3.- EPANET

Epanet es un programa informático para el cálculo de redes hidráulicas, muy sencillo y con una interfaz gráfica para la elaboración y visualización de los elementos de la red. Es desarrollado por la Agencia Estadounidense de Medioambiente, EPA por sus siglas en ingles (Environmental Protection Agency).

La primera versión de EPANET fue lanzada hacia el año 1993, La versión original del programa fue desarrollada en inglés por la EPA y ha sido traducida al español por varias instituciones. En España y Latinoamérica una de las de mayor difusión es la desarrollada por la Universidad Politécnica de Valencia.

Es un software libre, que se puede descargar directamente de la página web de la EPA en su versión original en inglés o la versión en castellano del Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos GMMF UPV.

Como se mencionó, su ventaja es la sencillez en su uso y su libre acceso, lo cual ha contribuido a su gran popularidad, ya que con él se puede hacer la mayor parte de los cálculos necesarios de un análisis hidráulico. Algunas de sus prestaciones son dimensionado de tuberías, determinar las mejoras y/o ampliaciones que necesita una red, analizar ubicación de elementos como válvulas, bombas y depósitos, entre otras prestaciones.

### 3.1.- ALGORITMOS DEL ANÁLISIS

EPANET utiliza para la resolución de las ecuaciones de continuidad y de pérdidas de energía presentes en un modelo hidráulico de una red de abastecimiento, una aproximación híbrida nudo-malla desarrollado por Todini y Pilati (1987) y un año más tarde Salgado et al eligieron llamarlo el “Método del Gradiente”. Se han desarrollado a partir de estas nuevas aproximaciones similares con leves diferencias entre ellos. La aproximación que utiliza Epanet, es la más simple de ellas descrita por Todini.

Este método se basa en lo siguiente: si se tiene un sistema de líneas que representan tuberías con N conexiones entre ellas o nudos de conexión y con NF nudos fijos que pueden representar tanque y depósitos. Se puede expresar la relación pérdidas-caudal en la tubería entre los nudos i y j de la siguiente forma:

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2$$

En la cual se tiene,

H = altura en nudo,

h = pérdidas,

r = coeficiente de resistencia,

Q = caudal,

n = exponente del caudal, y

m = coeficiente de pérdidas menores.

Para el cálculo de las pérdidas de energía el valor del coeficiente de pérdidas dependerá de la fórmula utilizada (CW ó HZ).

El siguiente grupo de ecuaciones con las cuales se debe trabajar son las ecuaciones de continuidad para todos los nudos en un modelo,

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0 \quad \text{para } i = 1, \dots, N.$$

Donde:

$D_i$  = demanda de caudal en el nudo  $i$  y por convenio, el caudal entrante en un nudo es positivo.

Para un conjunto de alturas conocidas en los nudos fijos, se busca una solución para todas las alturas  $H_i$  y caudales  $Q_{ij}$  que satisfagan las ecuaciones (E.1) y (E.2).

Para resolver las ecuaciones por el método del gradiente se utilizan un número de iteraciones, comenzando con un valor inicial estimado de caudales en cada línea, el cual no tiene que satisfacer las ecuaciones de continuidad. A lo largo del método, en cada iteración se encontrarán nuevas alturas en los nudos mediante la resolución de la ecuación matricial:

$$\mathbf{AH} = \mathbf{F}$$

Donde:

A = matriz Jacobiana (N×N),

H = vector de las alturas incógnita en los nudos (N×1), y

F = vector de los términos del lado derecho de la igualdad (N×1).

Los elementos de la diagonal principal de la matriz Jacobiana son:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij}$$

Mientras que los términos fueran de la diagonal, no negativos, son:

$$A_{ij} = -p_{ij}$$

Donde  $p_{ij}$  es la inversa de la derivada parcial con respecto del caudal de las en la línea entre los nudos  $i$  y  $j$ .

Para las tuberías,

$$p_{ij} = \frac{1}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|}$$

Cada término del lado derecho de la igualdad consiste en el desequilibrio del caudal neto en el nudo más un factor de corrección de caudal:

$$F_i = \left( \sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f$$

Donde los últimos términos los aplicamos a cualquier línea que une un nudo  $i$  a un nudo fijo y el factor de corrección de caudal  $y_{ij}$  es:

$$y_{ij} = p_{ij} \left( r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij})$$

Para tuberías,

Después de que las nuevas alturas son calculadas resolviendo la ecuación (E.3), los nuevos caudales se encuentran con:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - \left( y_{ij} - p_{ij} (H_i - H_j) \right)$$

Se debe definir una tolerancia (ej. 0.001) para la diferencia entre la suma de los caudales absolutos y el caudal total en todas las tuberías, de esta forma si esta diferencia es mayor a la tolerancia definida se deben resolver una vez más las ecuaciones 3 y 4. La ecuación de actualización de caudal 4 siempre cumple con la ley de continuidad alrededor de cada nudo después de la primera iteración.

### 3.2.- OPCIONES DE CÁLCULO

Estas son algunas de las opciones que controlan el modo de realizar los cálculos:

### **3.2.1.- Unidades de Caudal**

Unidades en las cuales serán expresados los caudales en los nodos y los caudales de paso por las líneas. Si se escogen litros o metros cúbicos, entonces las restantes magnitudes serán expresadas en unidades métricas.

Importante ser cuidadoso al cambiar las unidades porque esto puede afectar al resto de los datos del proyecto. Las unidades de trabajo para el estudio de la red de la CUCN son LPS (Litros por segundo).

### **3.2.2.- Fórmula de Pérdidas**

Fórmula utilizada para calcular las pérdidas de carga en función del caudal de paso por la tubería. Las opciones son, Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning. Cada fórmula contempla la rugosidad de las tuberías de forma diferente. Para este análisis se utilizará la ecuación de Hazen-Williams.

### **3.2.3.- Peso Específico Relativo**

Relación entre la densidad del fluido que circula por la red y la del agua a 4° C.

### **3.2.4.- Viscosidad Relativa**

Relación entre la viscosidad cinemática del fluido y la del agua 20°C.

### **3.2.5.- Máximo Iteraciones**

Número máximo de iteraciones permitido para resolver las ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema hidráulico, en cualquier instante de la simulación.

### **3.2.6.- Precisión**

Criterio de convergencia utilizado para saber que se ha encontrado una solución para el conjunto de ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema.

### **3.2.7.- Caso de No Equilibrio**

Acción a aplicar si no se encuentra una solución en el número máximo de iteraciones permitido.



### **3.2.8.- Factor de Demanda**

Factor global aplicable a todas las demandas en los nudos, con el fin de aumentar o disminuir el consumo total de la red.

### **3.2.9.- Exponente de los Emisores**

Exponente al cual se elevara la presión, para calcular el caudal saliente por emisores.

### **3.2.10.- Informe de Estado**

Especifica el volumen de información a incluir en el informe emitido tras finalizar una simulación. Según la opción deseada por el usuario se puede obtener un informe sencillo o un informe completo, que es básicamente igual que el sencillo, pero con la diferencia que en este se agregan los errores.

## **3.3.- ELEMENTOS EN EPANET**

En Epanet se cuenta con 6 tipos fundamentales de objetos que se presentan en una red, con los cuales se dibuja y se desarrollan todas las relaciones para el funcionamiento de la red. Son los siguientes:

### **3.3.1.- Nodo**

Es un punto con una elevación determinada por donde sale o entra agua al sistema. La salida se representan asignándole una demanda o consumo al nodo, y la entrada se tiene al asignar una demanda negativa. Los datos del objeto son cota y demanda de agua.

### **3.3.2.- Embalse**

Este elemento puede actuar como fuente o como sumidero de agua. Su principal características es que su volumen no varía por las entradas o salidas de agua, es decir, que su tamaño es suficientemente grande en comparación con el sistema. El parámetro que se le asigna es la altura total.

### **3.3.3.- Tubería**

Es un objeto lineal que conecta elementos puntuales en el sistema. Epanet asume que siempre están llenas. Entre sus propiedades tenemos que se pueden abrir o cerrar o limitar el flujo a un solo sentido sin necesidad de incluir válvulas al modelo. Sus datos son caudal, diámetro, longitud, coeficiente de rugosidad.

### **3.3.4.- Válvulas**

En Epanet se cuenta con varios tipos, entre ellos; válvula reductora, válvula sostenedora de presión, válvula limitadora de caudal, válvula genérica cuyo comportamiento programa el usuario.

Para estos elementos se obtienen datos como, en las tuberías Caudales, Velocidades, Pérdidas, Factor de fricción y Calidad del agua; y en los nudos se obtiene altura, presión y calidad del agua.

Las unidades utilizadas en el presente proyecto, vienen definidas por las unidades de caudal y por la ley de pérdidas utilizada, que para el caso son de Litros por segundo (LPS) para caudal, y para el cálculo de las pérdidas se trabajó con la fórmula de Hazen-Williams.

Con esto se tiene lo siguiente:

- ☐ Caudal: Litros por segundo (LPS)
- ☐ Longitud de tuberías: metros (m)
- ☐ Diámetro de tuberías: milímetros (mm)
- ☐ Elevación: metros (m)
- ☐ Rugosidad: Adimensional

## CAPITULO 4.- ELABORACION DEL MODELO

### 4.1.- Introducción

Antes de comenzar la elaboración del modelo se ha recopilado toda la información necesaria para poder realizarlo. Se ha elegido la misma nomenclatura que utiliza Epanet de sus elementos para la toma de datos.

### 4.2.- Nodo

Dentro de nuestro modelo, el nodo o conexión nos va a generar la información relativa a presiones. Por ello, habrá que tener en cuenta sus funciones y diferente tipología:

**Nodos de arquetas de hidrantes:** son los que simulan a una arqueta de hidrantes. Para su definición dentro del proyecto se necesita sumatoria del caudal total de reserva de la arqueta de hidrantes a la que hace referencia y cota de la misma. La identificación de la conexión hará referencia a la arqueta de hidrantes que simula.

**Nodos de unión de tuberías:** cuando exista una diferencia de secciones en una misma línea de tubería se insertará como unión este nodo. Este no tendrá demanda y la cota será la relativa al cambio de sección. Se identificará con el cambio de tubería.

**Nodos de ramificación:** cuando exista un nudo dentro de una línea de tubería se insertará un nodo sin demanda de caudal y la cota referida al punto de ramificación. La identificación de estas conexiones se realizará con una numeración independiente.

**Nodos de punto crítico:** en una misma línea de tubería pueden existir puntos con información necesaria que de no estar en el modelo, no obtendríamos información. Estos son debidos principalmente a desniveles pronunciados entre extremos de la línea de tubería. La identificación de estas conexiones se hará como  $P_{max}$  o  $P_{min}$  dependiendo de si el desnivel es positivo o negativo respecto de los extremos de la línea.

**Nodos de sectorización:** son necesarios para la inserción de una válvula. Nos dan detalle de las presiones antes y después de la válvula insertada.

**Nodo de inicio de sector:** Es el que hace de inicio de sector unido a la válvula de inicio. A este se le conectará el embalse y nos dará la presión de inicio de sector.

### 4.3.- Embalse

Se ha optado por este elemento para caracterizar la entrada de agua al modelo. Dentro de Epanet también se podría simular con otro elemento, los depósitos, pero para nuestro caso se ajusta más el embalse, ya que el volumen acopiado en las balsas se puede considerar ilimitado con respecto al caudal de demanda del sector, teniendo en cuenta la capacidad de llenado de balsa con la que cuenta actualmente la CUCN.

El dato necesario para el elemento embalse es el de altura total. Como el sector 370 se suministra de la balsa del Jabonero nºIV, tomaremos la altura de 226 m de altura total para la modelización.

#### **4.4.- Tubería**

Este elemento es el conector entre nodos. Hace referencia en nuestro proyecto a la línea de tubería de misma sección entre dos nodos. Para ello, se debe insertar los datos de diámetro, haciendo referencia a la sección útil de la tubería o sección interior como se detalla en el anexo 2 y la longitud de la misma en metros. Para la longitud de los trazados se ha utilizado los perfiles longitudinales del sector cedidos por la CUCN.

#### **4.5.- Válvulas**

Se van a diferenciar dos tipos de válvulas;

**Válvulas de regulación:** Se encontrarán dentro del sistema en su ubicación dentro del árbol sin tener ninguna acción sobre ellas, estas corresponderán con las válvulas de sectorización pudiendo así tener registros de presiones de la válvula con caudal y con el sistema cerrado. Estos registros podrán servir a la CUCN para ajustar los límites de alarma de presiones teniendo en cuenta la pérdida de carga generada por el caudal máximo de servicio. Por debajo de esa presión se puede plantear que existe algún problema en la red como obstrucciones que disminuyan la presión o un caudal de avería que aumente la pérdida de carga de la red.

**Válvulas reductoras de presión:** Son válvulas hidráulicas pilotadas para la regulación de la presión, reduciendo ésta a un valor predeterminado sin que la variación de las presiones aguas arriba de la válvula influyan significativamente en su funcionamiento. La regulación se realiza por pérdida de carga.

#### **4.6.- Fondo de pantalla**

Para facilitar la elaboración del proyecto, se ha optado por insertar un fondo de pantalla para servir de guía de la red de distribución y presentar visualmente un modelo acorde con la realidad aunque en Epanet no sea necesario. El fondo es una imagen (archivo.jpg) de la red de distribución con una traza leve del parcelario. Esto facilitará en un futuro la incorporación de ramales nuevos al modelo sin tener que realizarlo de nuevo.

También se puede realizar un cálculo automático dentro de Epanet de las longitudes de tubería geo-referenciando la imagen de fondo. Esta opción es sencilla de hacer pero puede generar errores debido a la colocación de los elementos siendo esta manual, por lo que se ha optado a insertar los datos.

#### **4.7.- Construcción del árbol**

Una vez seleccionado el fondo de pantalla, se modifican los parámetros iniciales de elementos. Estos parámetros son los valores iniciales con los que contaremos al insertar cualquier elemento en el modelo. Al ser un sector complejo y no poder concentrarse más, a la hora de modificar los valores del modelo se nos puede “pasar” la modificación de los parámetros de un elemento y al realizar el análisis, el error se nos enmascara y no apreciarlo. Por ello, los valores iniciales elegidos para los elementos son:

Cota: 300 metros  
Longitud de tuberías: 50000  
Diámetro de tuberías: 1  
Rugosidad de tuberías: 0.1

Con estos valores por defecto conseguiremos ver cualquier error en la inserción de datos para nuestro modelo, generándose advertencias en el informe de resultados y pudiendo ver el origen del error y corregirlo.

Para la elaboración del árbol, se distribuyen por el fondo todas las conexiones (nudos) que tengan o no demanda, como hemos visto antes para facilitar el trabajo después. Estas conexiones se unirán por tuberías y una vez dibujado el árbol se deberá modificar los parámetros de cada elemento. Para ello, hay que tener toda la información de cada elemento a mano para evitar en todo lo posible errores de transcripción. Una vez terminado el modelo, se podrán hacer comprobaciones al realizar el análisis debiendo ser el caudal total reservado por los comuneros igual al caudal de salida del embalse.

Terminado el trabajo de inserción de datos y colocación de elementos del modelo (nodos, tuberías y válvulas), insertaremos el embalse junto al nodo de inicio de sector, se establece como altura total el nivel de la balsa de suministro y se procederá al análisis del modelo.

## CAPITULO 5.- SIMULACIÓN DEL MODELO

### 5.1.- Presentación del modelo

Una vez terminada la construcción del árbol de la red y realizadas las comprobaciones oportunas sobre los datos insertados en el modelo, vamos a establecer las condiciones de funcionamiento de la red de la CUCN para ajustar nuestro modelo y conseguir el nivel de optimización de presiones deseado. Para ello se usará la leyenda de Epanet como marcador de los límites que establezcamos.

#### 5.1.1.- Límite de presiones

Para una correcta optimización estableceremos una serie de requisitos al modelo que se deberán cumplir, siendo:

**-Nodos de arquetas de hidrantes:** la presión mínima de servicio será de 20 m.c.a. para un correcto suministro de agua al comunero y una presión máxima de 75 m.c.a. para evitar posibles averías dentro de las instalaciones de los regantes. Las instalaciones deben estar preparadas para 10 bares y en el hidrante existe un reductor de presión que reduce a 2-3 bares el suministro. Al bajar la presión máxima se evitan posibles averías por fallo en los reductores de presión.

**-Nodos de punto crítico:** En estos nodos se garantizará la distribución de agua con una presión mínima de 15 m.c.a. siempre sabiendo que la mínima de suministro será de 20 m.c.a. La presión máxima establecida con respecto al timbraje de la tubería será de:

- Tuberías de PEAD Pn10: 75 m.c.a.
- Tuberías de PEAD Pn16: 120 m.c.a.
- Tuberías de Fundición Dúctil: 120 m.c.a.
- Tuberías de PVC Pn16: 100 m.c.a.

Como lo que buscamos con la modelización de la red de distribución es suministrar el agua lo más eficientemente posible evitando presiones innecesarias, se toma como valor de presión máxima de 85 m.c.a para todas las tuberías excepto las de 10 bares de timbraje que será de 75 m.c.a, colocando donde sea necesario una válvula reductora de presión.

#### 5.1.2.- Límite de velocidad

Como la red de distribución se encuentra ejecutada y puesta en servicio, los límites de velocidad del agua son meramente orientativos para la explotación de las redes, pues la demanda por parte de los usuarios y las secciones de tuberías no se pueden variar. Si bien se pueden localizar posibles tramos con velocidades altas que con el tiempo se puedan ir ampliando o, en la instalación de nuevos ramales, se pueda tener un análisis sobre la influencia del ramal nuevo sobre el sector. Para ello se ha optado por un rango de velocidades donde la mínima será de 0,5 m/s y la máxima de 2 m/s.

## 5.2.- Modos de simulación

Antes de proceder a la simulación y posterior optimización de la red, se debe detallar los pasos a seguir para evitar posibles incongruencias a la hora de ver los resultados.

Se deben realizar dos análisis de las redes:

**-nodos cerrados:** al no haber demanda de los nodos, no existe pérdida de carga en la red, por lo que las presiones serán máximas en situación de reposo. Este caso puede ocurrir en épocas de poca demanda debido por ejemplo a periodos de lluvias prolongadas.

**-nodos abiertos:** se deberá garantizar las presiones de suministro de los nodos con la demanda máxima. Aunque este caso es poco probable (debido a que existen fincas sin explotación) se aumenta la seguridad de suministro y posibles suministros de emergencia por avería en sondeos, épocas de climatología adversa, etc. También crea un margen de operatividad a la CUCN ante posibles ampliaciones de suministro.

## 5.3.- Simulación con conexiones cerradas

Teniendo el modelo terminado, con todos los parámetros completados y las comprobaciones pertinentes, se ejecuta un análisis con todos los elementos cerrados. Para ello, existen varias formas de realizarlo, eligiendo para nuestro caso la siguiente:

-Dentro de Proyecto, elegimos Valores por defecto y opciones hidráulicas. Vamos a cambiar el factor de demanda de las conexiones a 0.01. Este parámetro es un multiplicador de todas las demandas de las conexiones de la red, por lo que se cerrarán las demandas del sector, siendo una forma rápida y sencilla. Este valor no puede ser cero por lo que siempre existirá un pequeño caudal de salida de embalse de 1 l/s en la simulación, siendo despreciable para nuestro caso.

Para el análisis de los resultados, se ha optado por la visualización de mapas de contorno sobre las presiones de la red, consiguiendo de forma rápida una comprobación de funcionamiento del sector y ámbito de presiones de funcionamiento.

Se ejecuta el primer análisis de la red, correspondiendo al funcionamiento normal del sistema sin suministro a regantes:



**Mapa de contorno 1: Resultados de la simulación funcionamiento normal sin demanda**

Vemos como sólo se cumplen los límites prefijados de presión en el cuadrante NO donde la cota es superior a 150 metros, siendo las presiones en el resto superiores a 85 m.c.a. y máximas de 135 m.c.a. en la zona sur. Aunque el timbraje máximo de las tuberías nunca sea inferior al de trabajo, el funcionamiento normal de la red es desproporcionado, existiendo sobrepresión en la mayor parte del sector. Este hecho incrementa:

- Aparición de fugas y pequeñas pérdidas en juntas y demás elementos singulares difíciles de detectar.
- Averías por vicios en la red, como defectos al instalar las tuberías (común en las tuberías de PVC por golpes ocultos)
- Amplificación de golpes de ariete, mayor influencia de posibles bolsas de aire dentro de la red.
- Mayor carga de trabajo en elementos de regulación y presión en elementos de precisión como contadores y detectores de flujo.
- Mayor dificultad en maniobras de mantenimiento y explotación de las redes.



El primer paso elegido es el cambio en el inicio de sector de una válvula de regulación a reductora de presión. Lo que conseguiremos con esta modificación es una disminución de las presiones generalizadas como podemos apreciar:



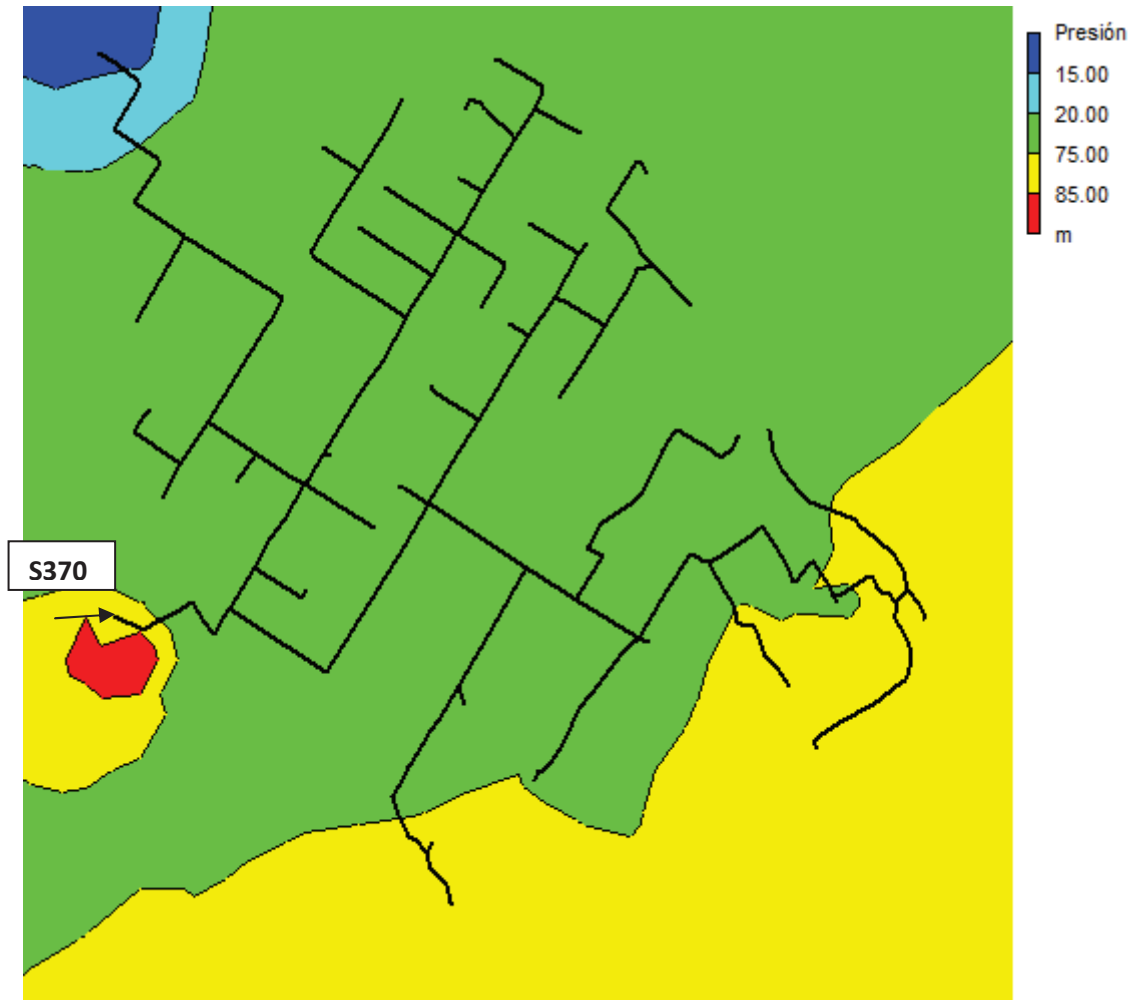
**Mapa de contorno 2: Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca de presión de tarado**

Para ello se ha cambiado a la válvula de inicio de sector del modelo el tipo, de reguladora a reductora. Se ha escogido un valor de consigna (regulación a la salida de la válvula) de 75 m.c.a., obteniendo una mejora en el funcionamiento del sistema considerable. Con esta acción, la válvula de inicio de sector tendrá una presión de regulación de 106-75, disminuyendo así en 3,1 bares la presión del sector. Esta reducción está dentro del margen de funcionamiento de la válvula sin que se pueda ocasionar en ningún momento cavitación.

Aún tenemos presiones elevadas en referencia a los parámetros de funcionamiento escogidos, por lo que habrá que seguir ajustando el modelo pudiendo:

- Bajar la presión de consigna de la válvula de inicio de sector o
- Modificar otra válvula de regulación existente a reductora de presión.

Hay que tener en cuenta que la simulación la estamos realizando sin suministro en las conexiones, por lo que se esperará una disminución de presiones en el sector debido a la pérdida de carga generada por las demandas. También tenemos una característica del sector que no podemos salvar con una mayor disminución de presión en la válvula de inicio de sector y es la diferencia de cota. Si disminuimos la presión para que la zona sur tenga una presión dentro del límite, la zona norte disminuirá la presión por debajo del límite de funcionamiento como se ve:



**Mapa de contorno 3: Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 50 mca de presión de tarado**

Esta diferencia de cota alcanza los 69 metros entre la zona norte y sur del sector, por lo que la opción de seguir bajando la presión de consigna en el inicio de sector no es válida, debiendo cambiar otra válvula de regulación a reductora de presión.

Se debe tener en cuenta que la instalación de estas válvulas acarrea dentro de la explotación de las redes una mayor carga de trabajo debido principalmente al mantenimiento y prevención que requieren para un correcto funcionamiento. Por este

hecho, se ha de ajustar el sistema con la instalación mínima posible de este tipo de válvulas fundamentalmente por:

- Manipulación de válvulas por operarios cualificados para ello.
- Posibilidad de establecer sintonía entre válvulas, ocasionando oscilaciones de presión y caudal.
- Aumento de coste de optimización.

Para la elección de la válvula a cambiar, se ha observado que la válvula número 12 de nuestro modelo es la inmediatamente superior a las presiones fuera de rango, con lo que se realiza la modificación de regulación a reductora, seleccionando una consigna de reducción de 35 m.c.a. y volvemos a ejecutar la simulación:



**Mapa de contorno 4: Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula 12 con reducción a 35 mca de presión de tarado**

Como podemos apreciar, el modelo queda equilibrado dentro de los límites de presiones fijadas de funcionamiento. Las zonas con presión entre 75-85 m.c.a (zonas color amarillo) corresponden a redes con timbraje de tubería de Pn16 y 20, por lo que cumpliría las premisas.

Para el ajuste de la simulación sin demanda se ha necesitado la instalación de dos válvulas reductoras de presión:

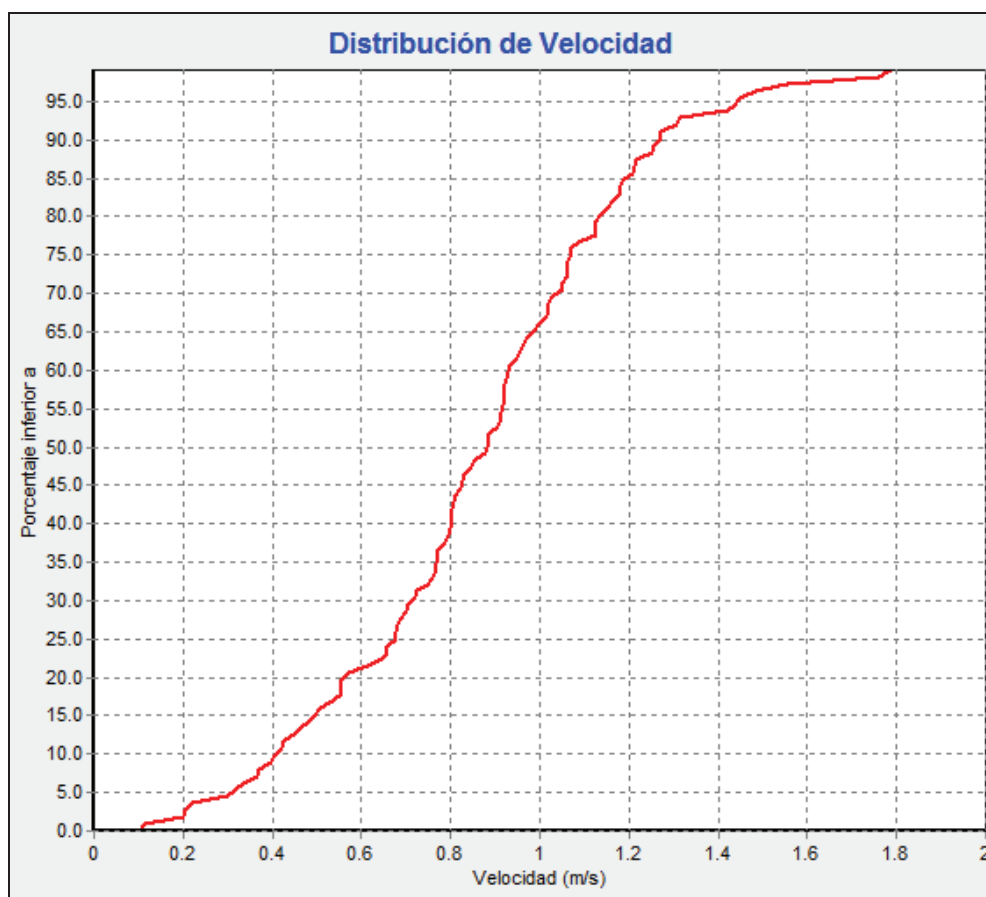
-Válvula de inicio de sector: regulación de 106 a 75 m.c.a.

-Válvula nº12 de sectorización: regulación de 78 a 35 m.c.a.

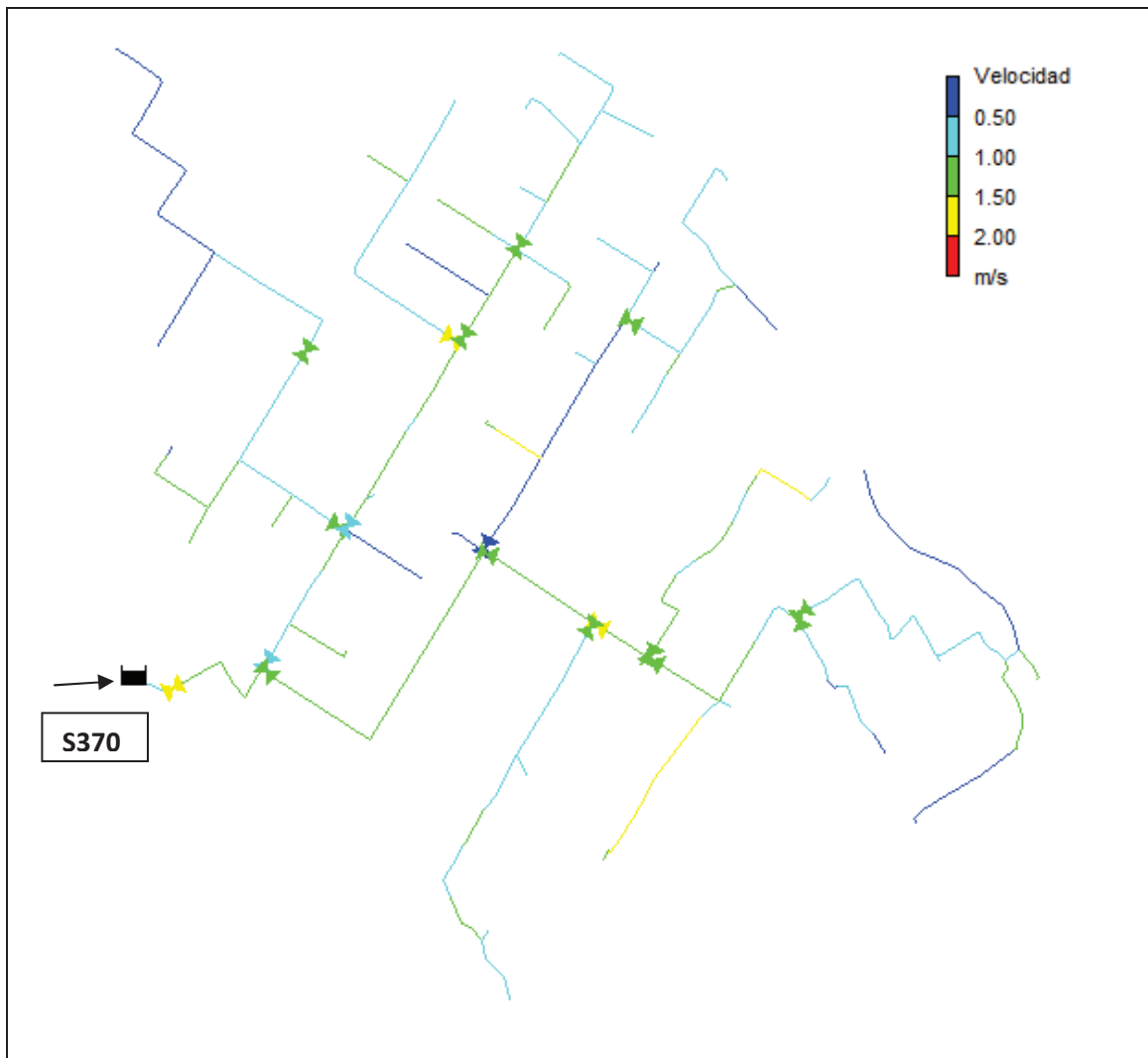
#### 5.4.- Simulación con conexiones abiertas

Una vez realizado el ajuste de la simulación para un funcionamiento sin demanda y con ello, presiones máximas previstas en la red, se realiza el ajuste con demanda máxima de consumo de las conexiones, procediendo a un reajuste de la simulación en caso necesario.

Antes de proceder a la simulación de las presiones, vamos a ejecutar el sistema para un análisis de la velocidad de las redes. Para ello, ajustamos el factor de demanda modificado anteriormente a uno, obteniendo así el caudal máximo de demanda en cada conexión y la velocidad del agua en cada línea:



Gráfica 1: Distribución de velocidad de las tuberías con respecto el total



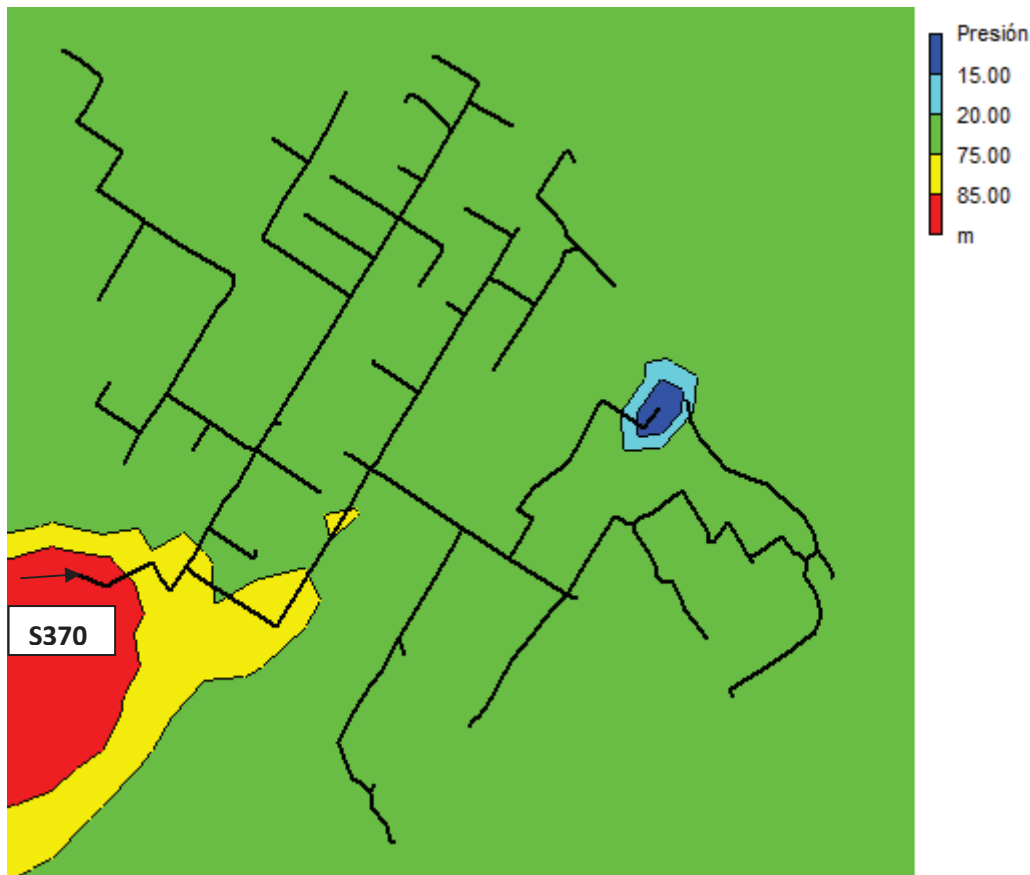
**Mapa de contorno 5: Redes de distribución de agua del Sector 370 con respecto a la velocidad**

Como podemos apreciar, ninguna tubería sobrepasa el valor máximo de velocidad de 2 m/s existiendo tramos con valores por debajo de 0,5 m/s representando estos el 15% de la red de distribución. En estos tramos se deberá tener precaución de formación de depósitos y sedimentación de partículas, pudiendo incluso reducir la sección efectiva de la tubería. Para evitarlo, se deberá planificar un mantenimiento más selectivo de estos ramales, incluyendo:

- Revisión de sedimentos en el interior de válvulas de regulación
- Comprobación de funcionamiento de válvulas de corte
- En el caso de tener alta sedimentación, se debería aumentar el caudal del ramal o invertir el flujo de agua cerrando en inicio de ramal y abriendo el desagüe para arrastrar toda la sedimentación posible.

Una vez comprobado la velocidad de cada tubería, sin que exista en ningún tramo velocidades elevadas, procedemos al tratamiento de las presiones con la demanda máxima. Para ello mantenemos las dos válvulas de reducción de presión establecidas en

el apartado anterior para comprobar los resultados con caudal. El mapa de contorno de presiones obtenido de la ejecución de la simulación es la siguiente:



**Mapa de contorno 6: Resultados de la simulación con demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula 12 con reducción a 35 mca de presión de tarado**

Como podemos ver, existe una zona con presiones por debajo de los límites fijados. Corresponde a tres nodos:

- H395-250-285-254
- H246-247-248
- H401-400-312-397

Para ver con más detalle la causa de esta disminución de presión vamos a:

- Comprobar la velocidad de los ramales de la zona de influencia y
- Comprobar las diferencias de altura total de la zona

Esta zona es la más elevada de cota que regula la válvula reductora nº12, siendo la causa de la disminución de presión y la pérdida de carga acumulada debida a la demanda, siendo la zona final de ramal. La pérdida de carga acumulada se puede modificar disminuyendo la demanda total de los ramales (no siendo posible en este caso) o sustituyendo la tubería por otra de más sección. Esta opción se debería tener presente en futuras actuaciones en la zona.

Para poder subsanar esta disminución de presión se puede aumentar la presión de reducción de salida en la válvula nº12 de 35 a 50 m.c.a. consiguiendo de esta forma que las presiones en esas arquetas de hidrantes queden dentro de los límites:



**Mapa de contorno 7: Resultados de la simulación con demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula nº12 con reducción a 50 mca de presión de tarado**

Con esta medida, el sector estaría suministrando toda la demanda reservada por los comuneros sin que se vea afectada ninguna zona fuera de los límites fijados de servicio. Para terminar la optimización de las presiones, al modificar la presión de tarado de la válvula nº12 debemos realizar la comprobación del sector en carga sin demanda con la nueva modificación resultando:





**Mapa de contorno 8: Resultados de la simulación sin demanda, válvula reductora en inicio de sector de 75 mca y válvula nº12 con reducción a 50 mca de presión de tarado**

Regulación 75-50 sin caudal

Como podemos apreciar, la mayor parte del sector de riego se encuentra en la zona de servicio 20-75 m.c.a., correspondiendo el resto de 75-85 m.c.a. a ramales con tubería de timbraje 16 y 20 atm, margen suficiente de prevención de posibles averías.

##### **5.5.- Resultados del análisis del modelo**

A continuación vamos a mostrar los resultados obtenidos de la simulación del modelo una vez optimizado. En primer lugar se presenta la tabla de los nodos correspondientes a las arquetas de hidrantes de la red de suministro. Esta información es útil para la explotación y gestión de las redes como por ejemplo para detectar posibles incidencias pues se tiene la presión máxima (sin demanda) y la presión de servicio de cada elemento siendo el intervalo de presión de funcionamiento.

**Sector 370 "LOS MORENOS"**

**Tabla de Red 1- Nudos**

|                           | <b>Cota</b> | <b>Demanda</b> | <b>Presión<br/>demanda</b> | <b>sin</b> | <b>Presión<br/>Demanda</b> | <b>con</b> |
|---------------------------|-------------|----------------|----------------------------|------------|----------------------------|------------|
| <b>ID NODO</b>            | <b>m</b>    | <b>LPS</b>     | <b>m.c.a.</b>              |            | <b>m.c.a.</b>              |            |
| Embalse JABONERO          | 226         | -122.07        |                            |            |                            |            |
| Conexión H338-627-614-616 | 91          | 0.89           | 76.00                      |            | 51.31                      |            |
| Conexión H267-270-363-362 | 92          | 1.15           | 75.00                      |            | 56.51                      |            |
| Conexión H380-326-623-325 | 93          | 0.45           | 74.00                      |            | 51.07                      |            |
| Conexión H336-297-034     | 94          | 0.6            | 73.00                      |            | 62.57                      |            |
| Conexión H468-378-324     | 94          | 2.22           | 73.00                      |            | 55.88                      |            |
| Conexión H333-618-302     | 96          | 1.1            | 71.00                      |            | 60.64                      |            |
| Conexión H269-266-268     | 97          | 1.21           | 70.00                      |            | 53.21                      |            |
| Conexión H389-465-387-315 | 98          | 1.05           | 69.00                      |            | 54.31                      |            |
| Conexión H368             | 99          | 10.8           | 68.00                      |            | 51.43                      |            |
| Conexión H295-292-375-296 | 100         | 1.06           | 67.00                      |            | 57.99                      |            |
| Conexión H282-281-293     | 101         | 1.29           | 66.00                      |            | 60.05                      |            |
| Conexión H381-617         | 101         | 0.56           | 66.00                      |            | 53.19                      |            |
| Conexión H331-322-473-334 | 101         | 1.11           | 66.00                      |            | 53.44                      |            |
| Conexión H367-608-366     | 102         | 1.95           | 65.00                      |            | 49.11                      |            |
| Conexión H365-210-212     | 102         | 1              | 65.00                      |            | 59.58                      |            |
| Conexión H607-329-392     | 103         | 0.72           | 64.00                      |            | 54.23                      |            |
| Conexión H276-277-278-279 | 103         | 2.55           | 64.00                      |            | 59.09                      |            |
| Conexión H620             | 103         | 0.15           | 64.00                      |            | 54.33                      |            |
| Conexión H289-290-280-285 | 104         | 1.27           | 63.00                      |            | 56.56                      |            |
| Conexión H359-469-200     | 104         | 0.95           | 63.00                      |            | 53.84                      |            |
| Conexión H625             | 104         | 15             | 63.00                      |            | 57.88                      |            |
| Conexión H305-394-286-393 | 106         | 1.15           | 61.00                      |            | 52.13                      |            |
| Conexión H214-219-221     | 108         | 1.32           | 59.00                      |            | 55.83                      |            |
| Conexión H401-400-312-397 | 108         | 1.29           | 59.00                      |            | 44.05                      |            |
| Conexión H395-250-285-254 | 109         | 1.28           | 58.00                      |            | 23.79                      |            |
| Conexión H234-235-236-605 | 109         | 1.02           | 58.00                      |            | 49.27                      |            |
| Conexión H217-209         | 109         | 0.45           | 58.00                      |            | 55.15                      |            |
| Conexión H246-247-248     | 109         | 1.05           | 58.00                      |            | 22.1                       |            |
| Conexión H239-229-244-237 | 111         | 1.43           | 84.00                      |            | 41.86                      |            |
| Conexión H126-128-129-130 | 111         | 1.15           | 86.00                      |            | 80.83                      |            |
| Conexión H450-134         | 114         | 2.04           | 81.00                      |            | 75.71                      |            |
| Conexión H055-353-358     | 115         | 0.59           | 80.00                      |            | 74.78                      |            |
| Conexión H072-073-075-355 | 116         | 2.2            | 79.00                      |            | 72.38                      |            |
| Conexión H194-434-195     | 117         | 0.8            | 78.00                      |            | 62.14                      |            |

|                           | Cota | Demanda | Presión<br>demanda | sin | Presión<br>Demanda | con |
|---------------------------|------|---------|--------------------|-----|--------------------|-----|
| ID NODO                   | m    | LPS     | m.c.a.             |     | m.c.a.             |     |
| Conexión H624-619-133     | 118  | 0.41    | 77.00              |     | 70.65              |     |
| Conexión H140-145-610-089 | 118  | 1.73    | 77.00              |     | 71.02              |     |
| Conexión H602-606-404-613 | 119  | 1.38    | 76.00              |     | 63.84              |     |
| Conexión H436-181-180-432 | 120  | 0.94    | 75.00              |     | 65.02              |     |
| Conexión H068-069-070-071 | 121  | 1.32    | 74.00              |     | 71.75              |     |
| Conexión H163-182         | 121  | 0.3     | 74.00              |     | 63.62              |     |
| Conexión H189-179-191-178 | 121  | 1.31    | 74.00              |     | 63.63              |     |
| Conexión H065-066-067-354 | 122  | 1.64    | 73.00              |     | 70.58              |     |
| Conexión H164-396-185-184 | 122  | 1.65    | 73.00              |     | 61.02              |     |
| Conexión H082-086-141-149 | 123  | 1.47    | 72.00              |     | 45.23              |     |
| Conexión H169-172-167-166 | 124  | 1.59    | 71.00              |     | 56.75              |     |
| Conexión H052-049-053-550 | 124  | 1.32    | 71.00              |     | 65.7               |     |
| Conexión H061-064-340-427 | 124  | 1.6     | 71.00              |     | 67.6               |     |
| Conexión H020-025-026-021 | 126  | 3.6     | 69.00              |     | 61.6               |     |
| Conexión H059-062-122     | 126  | 0.69    | 69.00              |     | 64.39              |     |
| Conexión H148-151-099-152 | 126  | 1.24    | 69.00              |     | 60.16              |     |
| Conexión H161             | 126  | 0.15    | 69.00              |     | 59.29              |     |
| Conexión H090-407-154-159 | 127  | 3.03    | 68.00              |     | 48.89              |     |
| Conexión H023-351-022-024 | 127  | 3       | 68.00              |     | 51.75              |     |
| Conexión H080-083-084-009 | 128  | 2.04    | 67.00              |     | 60.58              |     |
| Conexión H410-157-158-414 | 130  | 0.9     | 65.00              |     | 52.42              |     |
| Conexión H016-017         | 132  | 3       | 63.00              |     | 56.18              |     |
| Conexión H114-115-111-176 | 132  | 2.2     | 63.00              |     | 43.15              |     |
| Conexión H033-428-530-087 | 134  | 1.66    | 61.00              |     | 50.79              |     |
| Conexión H040-102-105     | 136  | 0.81    | 59.00              |     | 44.05              |     |
| Conexión H019-447         | 136  | 1.2     | 59.00              |     | 28.92              |     |
| Conexión H096-038-094-097 | 138  | 1       | 57.00              |     | 37.38              |     |
| Conexión H104-108         | 138  | 0.3     | 57.00              |     | 40.38              |     |
| Conexión H031-088-426-091 | 138  | 1.14    | 57.00              |     | 46.73              |     |
| Conexión H048-419-107-106 | 139  | 1.03    | 56.00              |     | 38.21              |     |
| Conexión H119-609-422-423 | 140  | 1.74    | 55.00              |     | 37.03              |     |
| Conexión H013-352-628     | 140  | 1.2     | 55.00              |     | 44.16              |     |
| Conexión H042-339-044-045 | 142  | 1.08    | 53.00              |     | 39.42              |     |
| Conexión H035-047-612     | 143  | 2.25    | 52.00              |     | 37.49              |     |
| Conexión H185-430-039-036 | 144  | 1.85    | 51.00              |     | 32.59              |     |
| Conexión H011             | 145  | 6       | 50.00              |     | 40.98              |     |
| Conexión H005-006-008     | 156  | 0.96    | 39.00              |     | 29.13              |     |
| Conexión H001-301         | 162  | 0.51    | 33.00              |     | 23.07              |     |

La siguiente tabla nos da la información obtenida de las características de las tuberías de la red de suministro, independientemente de la solución adoptada. Se puede ver la pérdida de carga del ramal con misma sección y su velocidad, para poder tomar decisiones certeras a la hora de una posible modificación. Las tuberías están identificadas conforme se fue construyendo el modelo por lo que para poder localizar el ramal, habrá que recurrir al modelo de Epanet y realizar una búsqueda por línea. La longitud total de tuberías corresponde con la longitud dada por la CUCN del sector.

#### **Sector 370 "LOS MORENOS"**

**Tabla de Red 2- Líneas**

|            | Longitud | Diámetro | Velocidad | Pérd. Unit. |
|------------|----------|----------|-----------|-------------|
| ID Línea   | m        | mm       | m/s       | m/km        |
| Tubería 1  | 465      | 352.6    | 1.25      | 3.25        |
| Tubería 2  | 167      | 260.4    | 0.92      | 2.62        |
| Tubería 3  | 125      | 260.4    | 0.88      | 2.4         |
| Tubería 4  | 206      | 51.4     | 1.06      | 22.68       |
| Tubería 5  | 412      | 277.6    | 1.21      | 4.03        |
| Tubería 6  | 75       | 260.4    | 0.85      | 2.28        |
| Tubería 7  | 160      | 209.4    | 1.27      | 6.16        |
| Tubería 8  | 210      | 163.6    | 0.93      | 4.57        |
| Tubería 9  | 545      | 123.4    | 0.72      | 4.03        |
| Tubería 10 | 128      | 61.4     | 1.22      | 23.71       |
| Tubería 11 | 202      | 147.2    | 0.93      | 5.23        |
| Tubería 12 | 177      | 61.4     | 1.42      | 31.6        |
| Tubería 13 | 130      | 51.4     | 1.45      | 40.32       |
| Tubería 14 | 280      | 32.6     | 1.44      | 67.71       |
| Tubería 15 | 35       | 61.4     | 0.41      | 3.1         |
| Tubería 16 | 385      | 141      | 0.75      | 3.65        |
| Tubería 17 | 305      | 96.8     | 0.93      | 8.46        |
| Tubería 18 | 355      | 55.4     | 0.5       | 5.12        |
| Tubería 19 | 650      | 79.2     | 0.3       | 1.31        |
| Tubería 20 | 335      | 79.2     | 0.1       | 0.18        |
| Tubería 21 | 300      | 40.8     | 0.45      | 6.06        |
| Tubería 22 | 92       | 163.6    | 1.05      | 5.79        |
| Tubería 23 | 28       | 32.6     | 0.82      | 24.1        |
| Tubería 24 | 250      | 163.6    | 1.02      | 5.46        |
| Tubería 25 | 55       | 163.6    | 0.96      | 4.85        |
| Tubería 26 | 105      | 147.2    | 1.18      | 8.12        |
| Tubería 27 | 182      | 147.2    | 1.06      | 6.67        |
| Tubería 28 | 176      | 110.2    | 1.18      | 11.35       |
| Tubería 29 | 450      | 96.8     | 0.7       | 5.06        |
| Tubería 30 | 170      | 44       | 1.21      | 34.86       |
| Tubería 31 | 184      | 79.2     | 0.68      | 5.94        |
| Tubería 32 | 133      | 66       | 0.66      | 6.98        |
| Tubería 33 | 175      | 96.8     | 0.83      | 6.84        |
| Tubería 34 | 320      | 66       | 0.33      | 1.98        |
| Tubería 35 | 177      | 110.2    | 1.06      | 9.31        |
| Tubería 36 | 102      | 44       | 0.66      | 11.24       |
| Tubería 37 | 430      | 260.4    | 1.05      | 3.36        |
| Tubería 38 | 110      | 35.2     | 0.83      | 22.5        |
| Tubería 39 | 225      | 79.2     | 1.07      | 13.95       |

|            |     |       |      |       |
|------------|-----|-------|------|-------|
| Tubería 40 | 133 | 79.2  | 0.8  | 8.13  |
| Tubería 41 | 200 | 55.4  | 0.91 | 15.79 |
| Tubería 42 | 161 | 55.4  | 0.55 | 6.23  |
| Tubería 43 | 98  | 44    | 0.68 | 11.95 |
| Tubería 44 | 200 | 66    | 0.89 | 12.12 |
| Tubería 45 | 190 | 55.4  | 1.26 | 28.44 |
| Tubería 46 | 293 | 66    | 0.51 | 4.34  |
| Tubería 47 | 543 | 277.6 | 1.19 | 3.91  |
| Tubería 48 | 175 | 277.6 | 1.16 | 3.71  |
| Tubería 49 | 127 | 40.8  | 0.32 | 3.16  |
| Tubería 50 | 180 | 277.6 | 0.22 | 0.18  |
| Tubería 51 | 210 | 102.2 | 0.97 | 8.64  |
| Tubería 52 | 175 | 176.2 | 0.48 | 1.25  |
| Tubería 53 | 1   | 450   | 0.77 | 0.99  |
| Tubería 54 | 355 | 176.2 | 0.42 | 0.97  |
| Tubería 55 | 95  | 40.8  | 0.95 | 24.19 |
| Tubería 56 | 175 | 176.2 | 0.37 | 0.77  |
| Tubería 57 | 170 | 40.8  | 0.8  | 17.73 |
| Tubería 58 | 50  | 40.8  | 0.11 | 0.48  |
| Tubería 59 | 215 | 90    | 0.77 | 6.54  |
| Tubería 60 | 90  | 51.4  | 1.02 | 20.94 |
| Tubería 62 | 217 | 40.8  | 0.69 | 13.32 |
| Tubería 63 | 165 | 90    | 0.92 | 9.08  |
| Tubería 64 | 60  | 90    | 0.77 | 6.57  |
| Tubería 65 | 60  | 73.6  | 1.09 | 15.57 |
| Tubería 66 | 212 | 61.4  | 0.47 | 4.02  |
| Tubería 67 | 83  | 73.6  | 0.76 | 8.07  |
| Tubería 68 | 435 | 61.4  | 0.54 | 5.22  |
| Tubería 69 | 210 | 209.4 | 1.49 | 8.21  |
| Tubería 70 | 275 | 90    | 0.7  | 5.47  |
| Tubería 71 | 65  | 40.8  | 0.77 | 16.35 |
| Tubería 72 | 215 | 73.6  | 0.81 | 9.08  |
| Tubería 73 | 130 | 61.4  | 1.17 | 21.95 |
| Tubería 74 | 42  | 61.4  | 0.85 | 12.14 |
| Tubería 75 | 148 | 61.4  | 0.8  | 10.83 |
| Tubería 76 | 178 | 51.4  | 1.14 | 25.74 |
| Tubería 77 | 41  | 40.8  | 0.92 | 22.89 |
| Tubería 78 | 145 | 51.4  | 0.56 | 6.83  |
| Tubería 79 | 78  | 40.8  | 0.88 | 21.05 |
| Tubería 80 | 268 | 209.4 | 1.31 | 6.49  |
| Tubería 81 | 235 | 73.6  | 0.65 | 5.97  |
| Tubería 82 | 335 | 73.6  | 1.12 | 16.6  |
| Tubería 83 | 78  | 73.6  | 0.88 | 10.64 |
| Tubería 84 | 178 | 61.4  | 1.27 | 25.73 |
| Tubería 85 | 100 | 61.4  | 0.79 | 10.63 |
| Tubería 86 | 65  | 51.4  | 1.13 | 25.28 |
| Tubería 87 | 223 | 40.8  | 1.79 | 77.87 |
| Tubería 88 | 95  | 40.8  | 0.8  | 17.73 |
| Tubería 89 | 187 | 114.6 | 0.91 | 6.76  |
| Tubería 90 | 40  | 40.8  | 0.99 | 25.95 |
| Tubería 91 | 82  | 209.4 | 0.81 | 2.64  |
| Tubería 92 | 522 | 102.2 | 1.55 | 20.62 |

|              |                     |       |      |       |
|--------------|---------------------|-------|------|-------|
| Tubería 93   | 45                  | 102.2 | 1.32 | 15.16 |
| Tubería 94   | 223                 | 130.8 | 1    | 6.85  |
| Tubería 95   | 206                 | 130.8 | 0.91 | 5.7   |
| Tubería 97   | 46                  | 73.6  | 0.4  | 2.43  |
| Tubería 98   | 210                 | 61.4  | 0.57 | 5.88  |
| Tubería 99   | 77                  | 61.4  | 0.2  | 0.86  |
| Tubería 101  | 168                 | 114.6 | 0.8  | 5.32  |
| Tubería 102  | 356                 | 102.2 | 0.92 | 7.85  |
| Tubería 103  | 15                  | 32.6  | 0.68 | 16.73 |
| Tubería 104  | 280                 | 102.2 | 0.72 | 4.94  |
| Tubería 105  | 325                 | 40.8  | 1.02 | 27.66 |
| Tubería 106  | 420                 | 51.4  | 0.43 | 4.19  |
| Tubería 107  | 60                  | 102.2 | 0.56 | 3.07  |
| Tubería 108  | 130                 | 51.4  | 1.07 | 23.03 |
| Tubería 109  | 335                 | 90    | 0.37 | 1.66  |
| Tubería 110  | 485                 | 90    | 0.2  | 0.55  |
| Tubería 111  | 216                 | 35.2  | 1.03 | 33.32 |
| Tubería 112  | 200                 | 32.6  | 1.76 | 98.6  |
| Tubería 113  | 26                  | 40.8  | 1.12 | 33.06 |
| Tubería 114  | 90                  | 40.8  | 0.61 | 10.81 |
| Tubería 115  | 140                 | 32.6  | 0.96 | 32.25 |
| <b>TOTAL</b> | <b>22067 metros</b> |       |      |       |

Esta última tabla hace referencia a la valvulería del sector. Nos da la información de las dos válvulas reductoras impuestas al sistema, con su reducción y la velocidad de funcionamiento con la demanda máxima, estando todas dentro de los límites puestos por el fabricante.

#### **Sector 370 "LOS MORENOS"**

##### **Tabla de Red 3- Válvulas**

| <b>ID Línea</b>       | <b>Diámetro</b> | <b>Velocidad</b> | <b>Pérd. Unit.</b> |
|-----------------------|-----------------|------------------|--------------------|
|                       | <b>mm</b>       | <b>m/s</b>       | <b>m/km</b>        |
| Válvula INICIO SECTOR | 300             | 1.73             | 31                 |
| Válvula 12            | 250             | 1.14             | 22.06              |
| Válvula 116           | 250             | 1                | 0                  |
| Válvula 117           | 250             | 1.49             | 0                  |
| Válvula 118           | 150             | 1.1              | 0                  |
| Válvula 119           | 200             | 0.76             | 0                  |
| Válvula 120           | 100             | 1.1              | 0                  |
| Válvula 121           | 75              | 1.55             | 0                  |
| Válvula 122           | 100             | 1.43             | 0                  |
| Válvula 123           | 75              | 1.38             | 0                  |
| Válvula 124           | 100             | 1.01             | 0                  |
| Válvula 125           | 250             | 0.27             | 0                  |
| Válvula 127           | 200             | 1.63             | 0                  |
| Válvula 128           | 75              | 1.11             | 0                  |
| Válvula 129           | 200             | 1.43             | 0                  |
| Válvula 130           | 75              | 1.38             | 0                  |
| Válvula 131           | 50              | 1.4              | 0                  |
| Válvula 132           | 100             | 1.2              | 0                  |

## 5.6.- Optimización de la red de distribución de riego

Una vez terminada la validación de las actuaciones realizadas en el modelo para un correcto funcionamiento de todos los elementos que lo componen, vemos que es posible la disminución generalizada de las presiones de servicio del sector estudiado. Para poder finalizar el proceso de optimización de presiones, vamos a resumir los resultados obtenidos de la simulación y las consiguientes modificaciones necesarias en la red de distribución.

Como hemos detallado, es necesario incluir dos válvulas reductoras de presión en el sector para trasladar los resultados del modelo a campo. Esta modificación no tiene gran repercusión económica a la CUCN pues se ha realizado la simulación sobre válvulas existentes con lo que sólo sería necesario cambiar su modo de funcionamiento, incorporando un pilotaje para modificar de regulación (apertura/cierre) a reductoras (reducción de presión y apertura/cierre). La relación de reducción de las válvulas es:

-Válvula de inicio de sector:  $P_{\text{entrada}}$  (106)  $P_{\text{salida}}$  (75)

Relación de reducción 4:3

-Válvula de sectorización nº12:  $P_{\text{entrada}}$  (78)  $P_{\text{salida}}$  (50)

Relación de reducción 3:2

Esta relación está dentro de los límites de trabajo para dichas válvulas, como marca el fabricante (Bermad), por lo que sería factible su implementación en la red. El cambio de funcionamiento de estas válvulas se debería de acompañar con una planificación de mantenimiento, previendo funcionamientos incorrectos. A parte de la solución dada, existen en el mercado carretes reductores de presión independientes de la válvula hidráulica, que si bien aumentaría el coste de la optimización, el mantenimiento de estos es mínimo, pudiendo fabricarse con la relación de reducción que se requiera.

Aunque pueda incrementarse la carga de trabajo por parte del equipo de trabajadores de la CUCN o el coste final de optimización, la disminución de presiones generalizada del sector 370, siendo esta de 3 bares en la zona norte y de hasta 5.9 bares en la zona sur, favorecerá la disminución del número de incidencias en este sector motivadas por la presión de servicio. Estas incidencias son averías en aparatos (reductores de hidrantes, electroválvulas, contadores, etc.) y averías en la red de suministro, pues la tubería tendrá mayor margen de trabajo entre timbraje y presión de servicio.

También disminuirá la presencia de fugas y rezumes en tuberías de la red de distribución y puntos singulares, que al bajar la presión de servicio puedan incluso desaparecer. Aunque el balance actual de agua del sector 370 representa unas pérdidas anuales del 2% incluyendo averías por roturas, hay que tener presente que el envejecimiento de las redes depende principalmente del funcionamiento: presión de servicio, velocidad de trabajo y calidad de agua. Un envejecimiento prematuro de las



redes supone un aumento de la aparición de fugas ocultas y averías por rotura (principalmente en ramales con PVC).

#### **5.7.- Finalización técnica del trabajo**

Teniendo la modelización del sector y las mejoras en las instalaciones previstas, para concluir el estudio se debería seguir unas pautas para una correcta finalización del trabajo realizado y sacar el máximo rendimiento a la optimización conseguida.

Primero tendríamos que ejecutar las modificaciones obtenidas de la optimización en las instalaciones, con un correcto seguimiento del funcionamiento de las válvulas reductoras ejecutadas e incluirlas en la planificación de mantenimiento específico para este tipo de valvulería.

Una vez comprobada la estabilidad del sistema, se debería realizar una calibración del modelo de simulación del sector con datos obtenidos a través del telecontrol e *in situ* de la mayor cantidad de puntos posibles y distribuidos lo más homogéneamente posible para que sean representativos de la red. Sabiendo el caudal suministrado en cada conexión y el total, se pueden comprobar con el modelo las variaciones de presión existente entre las tomadas y las obtenidas del modelo.

Si existiera diferencia, hay que descartar posibles incidencias en campo, como por ejemplo obstrucciones, válvulas estranguladas o hasta secciones de tubería diferentes a las obtenidas de los planos de construcción. Una vez comprobado en campo, se incorporarían esas variaciones al modelo de simulación para su calibrado, calculando la correlación de los datos y su posible ajuste.

Teniendo un modelo calibrado ya se podrían definir los límites funcionales de la red para implementar al sistema de telecontrol, obteniendo, como se dijo anteriormente, límites de presiones de funcionamiento por caída de presión (posible avería) o sobre presión (protección de la red).

## **CAPITULO 6.- CONCLUSION**

La simulación de redes hidráulicas en explotación para su optimización mediante herramientas informáticas requiere de una planificación de trabajo exhaustiva, buscando la reproducción fidedigna de la realidad, siendo fundamental la toma de información y su clasificación. Para ello, es necesario el trabajo en gabinete como las visitas a campo, consiguiendo una visión global de la situación de las redes de riego y a partir de ahí, las especificaciones necesarias para la construcción del modelo.

Este hecho es la base para una correcta optimización de la red. Conociendo las condiciones de funcionamiento y generando el modelo hidráulico, teniendo presente los parámetros a valorar, se puede localizar fácilmente las deficiencias de la red y su estudio.

Es importante no precipitarse en la consecución de los resultados obtenidos, pues la máxima en este tipo de estudios es la complejidad de simulación, sobre todo para redes en servicio, realizando las comprobaciones que sean pertinentes para que, una vez finalizado el estudio, la implementación de las modificaciones en la instalación sea efectiva como en la simulación. Para ello se hace necesario un seguimiento del funcionamiento de la red y sus posibles variaciones a medio y largo plazo.

Importante resaltar que con el modelo desarrollado, se puede partir para futuros ejercicios sobre la red y sobre las zonas hidráulicas de la misma, como aplicación y/o ampliación al presente estudio. Este hecho genera la base fundamental para una correcta gestión de las redes, con los beneficios que eso conlleva.

Por tanto, la optimización de redes de distribución de agua mediante modelos informáticos nos sirve para conocer, prever y proteger las instalaciones, siendo una herramienta versátil para cualquier entidad encargada de la explotación de las mismas.

## CAPITULO 7.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Arnalich, S. “Epanet y Cooperación: 44 Ejercicios progresivos comentados paso a paso” (2007).
- 2.- Base de datos de la Comunidad de Usuarios de aguas de la Comarca de Níjar. Información sobre el sector 370: demanda de arquetas de hidrantes, plano de distribución de redes y materiales constructivos.
- 3.- Cabrera, E., Almandoz, J. Actuaciones orientadas a disminuir las pérdidas d agua. En: Evaluación y control de pérdidas de agua en redes urbanas (monografía) 4 edición. Valencia: ITA, 2004.
- 4.- Fuertes, V.S.; García-Serra,J.; Iglesias, P.L.; López, G.; Martínez, F.J.; Pérez, R “Modelación y Diseño de Redes de Abastecimiento de Agua” UPV (2002).
- 5.- García Carrasco, V.J. (2003). “Modelación de la demanda urbana de agua” Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Media Ambiente. Univ. Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- 6.- Garzón, F., Thornton, J. Influencia de la presión en las pérdidas de agua en sistemas de distribución. En XXX CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. (30º: Noviembre 20-30 de 2006: Punta del Este). Memorias del congreso. Punta del Este, Uruguay.
- 7.- Iglesias Rey, P. L., López Patiño, G. y Martínez Solano, J. (1998). “Influencia de la modulación del consumo de agua en la calidad del suministro”. I Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Sequías. Zaragoza, España.
- 8.- Loucks, D. “Water Resources Systems Planning and Management: an Introduction to Methods, Models and Applications” Unesco Publishing (2005)
- 9.- U.S. Fire Administration “Water Supply Systems and Evaluation Methods – Volume II: Water Supply Evaluation Methods” FEMA (2008)
- 10.- U.S. Enviromental Protection Agency. “Epanet 2 Manual de Usuario” Traducción: Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos UPV.
- 11.- Varios Autores. “Ingeniería Hidráulica en los abastecimientos de agua” Grupo multidisciplinar de modelación de fluidos GMMF UPV (2003).

## **ANEXO N°1:**

### **DESGLOSE DE LA DEMANDA DE LA RED DE DISTRIBUCION**

|                  | Superficie | Caudal  | Caudal Total Arqueta |
|------------------|------------|---------|----------------------|
| Arqueta: S370A01 |            |         | 1,32                 |
| S370H068         | 1,00       | 0,30    |                      |
| S370H069         | 1,10       | 0,33    |                      |
| S370H070         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H071         | 1,30       | 0,39    |                      |
| Arqueta: S370A02 |            |         | 1,64                 |
| S370H067         | 1,20       | 0,36    |                      |
| S370H354         | 1,26       | 0,378   |                      |
| S370H066         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H065         | 2,00       | 0,6     |                      |
| Arqueta: S370A03 |            |         | 3,60                 |
| S370H020         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H026         | 7,00       | 2,1     |                      |
| S370H025         | 2,00       | 0,6     |                      |
| S370H021         | 2,00       | 0,6     |                      |
| Arqueta: S370A04 |            |         | 3,00                 |
| S370H022         | 0,81       | 0,2439  |                      |
| S370H351         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H024         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H023         | 6,70       | 2,01    |                      |
| Arqueta: S370A05 |            |         | 1,20                 |
| S370H019         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H447         | 2,50       | 0,75    |                      |
| Arqueta: S370A06 |            |         | 3,00                 |
| S370H016         | 5,00       | 1,5     |                      |
| S370H017         | 5,00       | 1,5     |                      |
| Arqueta: S370A07 |            |         | 0,96                 |
| S370H008         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H006         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H005         | 1,20       | 0,36    |                      |
| Arqueta: S370A08 |            |         | 1,15                 |
| S370H128         | 0,84       | 0,252   |                      |
| S370H126         | 0,80       | 0,24    |                      |
| S370H129         | 1,20       | 0,36    |                      |
| S370H130         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A09 |            |         | 2,20                 |
| S370H355         | 0,80       | 0,24    |                      |
| S370H073         | 3,34       | 1,00176 |                      |
| S370H072         | 2,20       | 0,66    |                      |
| S370H075         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A10 |            |         | 0,59                 |
| S370H055         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H353         | 0,56       | 0,168   |                      |
| S370H358         | 0,40       | 0,12    |                      |
| Arqueta: S370A11 |            |         | 1,60                 |
| S370H064         | 1,12       | 0,336   |                      |
| S370H061         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H427         | 1,70       | 0,51    |                      |
| S370H340         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A12 |            |         | 0,69                 |
| S370H059         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H122         | 0,45       | 0,135   |                      |
| S370H062         | 0,84       | 0,252   |                      |

|                  | Superficie | Caudal  | Caudal Total Arqueta |
|------------------|------------|---------|----------------------|
| Arqueta: S370A13 |            |         | 1,32                 |
| S370H052         | 1,90       | 0,57    | 6,00                 |
| S370H550         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H053         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H049         | 1,50       | 0,45    |                      |
| Arqueta: S370A14 |            |         | 1,20                 |
| S370H011         | 20,00      | 6       | 0,51                 |
| Arqueta: S370A15 |            |         |                      |
| S370H352         | 1,80       | 0,54    |                      |
| S370H628         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H013         | 1,70       | 0,51    | 2,04                 |
| Arqueta: S370A16 |            |         |                      |
| S370H301         | 0,70       | 0,21    |                      |
| S370H001         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A17 |            |         | 1,66                 |
| S370H080         | 3,50       | 1,05    | 1,14                 |
| S370H084         | 1,64       | 0,49305 |                      |
| S370H083         | 1,64       | 0,492   |                      |
| Arqueta: S370A18 |            |         |                      |
| S370H033         | 1,62       | 0,486   | 1,85                 |
| S370H530         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H087         | 0,90       | 0,27    |                      |
| S370H428         | 1,50       | 0,45    |                      |
| Arqueta: S370A19 |            |         | 1,08                 |
| S370H091         | 0,80       | 0,24    | 2,25                 |
| S370H426         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H088         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H031         | 1,50       | 0,45    |                      |
| Arqueta: S370A20 |            |         | 1,00                 |
| S370H430         | 0,75       | 0,225   | 1,00                 |
| S370H429         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H036         | 1,90       | 0,57    |                      |
| S370H039         | 2,50       | 0,75    |                      |
| Arqueta: S370A21 |            |         | 0,81                 |
| S370H044         | 0,45       | 0,135   | 0,90                 |
| S370H339         | 1,20       | 0,36    |                      |
| S370H042         | 1,20       | 0,36    |                      |
| S370H045         | 0,75       | 0,225   |                      |
| Arqueta: S370A22 |            |         | 0,81                 |
| S370H612         | 2,00       | 0,6     | 1,00                 |
| S370H035         | 4,50       | 1,35    |                      |
| S370H047         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A23 |            |         |                      |
| S370H097         | 1,70       | 0,51    | 0,81                 |
| S370H094         | 0,44       | 0,13125 |                      |
| S370H096         | 0,80       | 0,24    |                      |
| S370H038         | 0,40       | 0,12    |                      |
| Arqueta: S370A24 |            |         | 0,90                 |
| S370H105         | 1,00       | 0,3     | 0,90                 |
| S370H040         | 0,90       | 0,27    |                      |
| S370H102         | 0,80       | 0,24    |                      |
| Arqueta: S370A25 |            |         |                      |
| S370H410         | 1,55       | 0,465   | 0,90                 |
| S370H157         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H414         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H158         | 0,45       | 0,135   |                      |

|                  | Superficie | Caudal | Caudal Total Arqueta |
|------------------|------------|--------|----------------------|
| Arqueta: S370A26 |            |        | 3,03                 |
| S370H090         | 7,00       | 2,1    |                      |
| S370H154         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H407         | 0,40       | 0,12   |                      |
| S370H159         | 1,70       | 0,51   |                      |
| Arqueta: S370A27 |            |        | 1,04                 |
| S370H048         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H106         | 0,45       | 0,135  |                      |
| S370H419         | 0,80       | 0,24   |                      |
| S370H107         | 1,20       | 0,36   |                      |
| Arqueta: S370A28 |            |        | 1,74                 |
| S370H422         | 2,00       | 0,6    |                      |
| S370H423         | 0,80       | 0,24   |                      |
| S370H609         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H119         | 2,00       | 0,6    |                      |
| Arqueta: S370A29 |            |        | 2,21                 |
| S370H111         | 0,60       | 0,18   |                      |
| S370H115         | 2,00       | 0,6    |                      |
| S370H176         | 2,45       | 0,735  |                      |
| S370H114         | 1,30       | 0,39   |                      |
| S370H113         | 1,00       | 0,3    |                      |
| Arqueta: S370A30 |            |        | 1,59                 |
| S370H167         | 0,90       | 0,27   |                      |
| S370H169         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H166         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H172         | 2,40       | 0,72   |                      |
| Arqueta: S370A31 |            |        | 2,04                 |
| S370H450         | 0,80       | 0,24   |                      |
| S370H134         | 6,00       | 1,8    |                      |
| Arqueta: S370A32 |            |        | 1,73                 |
| S370H610         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H145         | 2,00       | 0,6    |                      |
| S370H140         | 2,00       | 0,6    |                      |
| S370H089         | 0,75       | 0,225  |                      |
| Arqueta: S370A33 |            |        | 1,47                 |
| S370H149         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H082         | 1,50       | 0,45   |                      |
| S370H141         | 0,80       | 0,24   |                      |
| S370H086         | 1,60       | 0,48   |                      |
| Arqueta: S370A34 |            |        | 1,24                 |
| S370H099         | 0,80       | 0,24   |                      |
| S370H148         | 1,50       | 0,45   |                      |
| S370H151         | 0,84       | 0,252  |                      |
| S370H152         | 1,00       | 0,3    |                      |
| Arqueta: S370A35 |            |        | 1,31                 |
| S370H179         | 1,25       | 0,375  |                      |
| S370H191         | 1,00       | 0,3    |                      |
| S370H178         | 0,80       | 0,24   |                      |
| S370H189         | 1,30       | 0,39   |                      |
| Arqueta: S370A36 |            |        | 0,80                 |
| S370H195         | 1,40       | 0,42   |                      |
| S370H434         | 0,28       | 0,084  |                      |
| S370H194         | 1,00       | 0,3    |                      |

|                  | Superficie | Caudal  | Caudal Total Arqueta |
|------------------|------------|---------|----------------------|
| Arqueta: S370A37 |            |         | 0,94                 |
| S370H180         | 0,22       | 0,066   |                      |
| S370H436         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H181         | 1,20       | 0,36    |                      |
| S370H432         | 0,22       | 0,066   |                      |
| Arqueta: S370A38 |            |         | 0,30                 |
| S370H163         | 0,75       | 0,225   |                      |
| S370H182         | 0,25       | 0,075   |                      |
| Arqueta: S370A39 |            |         | 1,65                 |
| S370H184         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H185         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H164         | 1,75       | 0,525   |                      |
| S370H396         | 1,75       | 0,525   |                      |
| Arqueta: S370A40 |            |         | 1,38                 |
| S370H405         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H602         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H259         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H606         | 1,80       | 0,54    |                      |
| S370H613         | 0,10       | 0,03    |                      |
| S370H404         | 0,70       | 0,21    |                      |
| Arqueta: S370A41 |            |         | 1,00                 |
| S370H365         | 1,35       | 0,405   |                      |
| S370H210         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H212         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A42 |            |         | 0,95                 |
| S370H200         | 1,19       | 0,35736 |                      |
| S370H359         | 1,16       | 0,348   |                      |
| S370H469         | 0,80       | 0,24    |                      |
| Arqueta: S370A43 |            |         | 1,21                 |
| S370H268         | 0,33       | 0,099   |                      |
| S370H266         | 3,38       | 1,01334 |                      |
| S370H269         | 0,31       | 0,093   |                      |
| Arqueta: S370A44 |            |         | 1,15                 |
| S370H270         | 0,40       | 0,12    |                      |
| S370H267         | 2,60       | 0,78    |                      |
| S370H363         | 0,53       | 0,159   |                      |
| S370H362         | 0,31       | 0,093   |                      |
| Arqueta: S370A45 |            |         | 1,32                 |
| S370H221         | 2,50       | 0,75    |                      |
| S370H219         | 0,90       | 0,27    |                      |
| S370H214         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A46 |            |         | 1,02                 |
| S370H235         | 1,30       | 0,39    |                      |
| S370H234         | 0,90       | 0,27    |                      |
| S370H236         | 0,70       | 0,21    |                      |
| S370H605         | 0,50       | 0,15    |                      |
| Arqueta: S370A47 |            |         | 1,43                 |
| S370H229         | 0,40       | 0,12    |                      |
| S370H239         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H238         | 0,80       | 0,24    |                      |
| S370H244         | 1,10       | 0,33    |                      |
| S370H237         | 1,46       | 0,43746 |                      |

|                  | Superficie | Caudal  | Caudal Total Arqueta |
|------------------|------------|---------|----------------------|
| Arqueta: S370A48 |            |         | 1,05                 |
| S370H248         | 1,00       | 0,3     | 1,28                 |
| S370H246         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H247         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A49 |            |         | 1,28                 |
| S370H254         | 0,50       | 0,15    | 2,55                 |
| S370H284         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H395         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H250         | 1,78       | 0,53478 |                      |
| S370H621         | 0,50       | 0,15    |                      |
| Arqueta: S370A50 |            |         | 2,55                 |
| S370H279         | 3,00       | 0,9     | 1,95                 |
| S370H277         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H278         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H276         | 2,50       | 0,75    |                      |
| Arqueta: S370A51 |            |         | 1,95                 |
| S370H366         | 2,50       | 0,75    | 1,29                 |
| S370H367         | 2,50       | 0,75    |                      |
| S370H608         | 1,50       | 0,45    |                      |
| Arqueta: S370A52 |            |         | 1,29                 |
| S370H293         | 1,00       | 0,3     | 1,27                 |
| S370H281         | 1,80       | 0,54    |                      |
| S370H282         | 1,50       | 0,45    |                      |
| Arqueta: S370A53 |            |         | 1,27                 |
| S370H289         | 1,20       | 0,36    | 1,06                 |
| S370H290         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H280         | 0,52       | 0,15708 |                      |
| S370H285         | 1,50       | 0,45    |                      |
| Arqueta: S370A54 |            |         | 1,06                 |
| S370H375         | 0,53       | 0,159   | 1,10                 |
| S370H295         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H296         | 0,80       | 0,24    |                      |
| S370H292         | 1,20       | 0,36    |                      |
| Arqueta: S370A55 |            |         | 1,10                 |
| S370H333         | 1,90       | 0,57    | 0,60                 |
| S370H618         | 0,25       | 0,075   |                      |
| S370H302         | 1,50       | 0,45    |                      |
| Arqueta: S370A56 |            |         | 0,60                 |
| S370H336         | 1,00       | 0,3     | 1,15                 |
| S370H034         | 0,50       | 0,15    |                      |
| S370H297         | 0,50       | 0,15    |                      |
| Arqueta: S370A57 |            |         | 1,15                 |
| S370H305         | 0,82       | 0,246   | 0,72                 |
| S370H393         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H394         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H286         | 1,00       | 0,3     |                      |
| Arqueta: S370A58 |            |         | 0,72                 |
| S370H329         | 1,00       | 0,3     | 1,11                 |
| S370H392         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H607         | 0,40       | 0,12    |                      |
| Arqueta: S370A59 |            |         | 1,11                 |
| S370H334         | 0,80       | 0,24    |                      |
| S370H331         | 1,50       | 0,45    |                      |
| S370H322         | 1,00       | 0,3     |                      |
| S370H473         | 0,40       | 0,12    |                      |

|                  | Superficie | Caudal  | Caudal Total Arqueta |      |
|------------------|------------|---------|----------------------|------|
| Arqueta: S370A60 |            |         | 0,45                 |      |
| S370H623         | 0,50       | 0,15    | 2,22                 |      |
| S370H325         | 0,50       |         |                      |      |
| S370H326         | 0,10       |         |                      |      |
| S370H380         | 0,40       |         |                      |      |
| Arqueta: S370A61 |            |         |                      | 2,22 |
| S370H324         | 1,50       | 0,45    |                      | 1,05 |
| S370H378         | 0,40       | 0,12    |                      |      |
| S370H468         | 5,50       | 1,65    |                      |      |
| Arqueta: S370A62 |            |         |                      | 1,05 |
| S370H315         | 0,50       | 0,15    |                      | 1,29 |
| S370H389         | 1,00       | 0,3     |                      |      |
| S370H465         | 1,00       | 0,3     |                      |      |
| S370H387         | 1,00       | 0,3     |                      |      |
| Arqueta: S370A63 |            |         | 1,29                 |      |
| S370H312         | 0,80       | 0,24    | 10,80                |      |
| S370H401         | 1,00       | 0,3     |                      |      |
| S370H397         | 1,50       | 0,45    |                      |      |
| S370H400         | 1,00       | 0,3     |                      |      |
| Arqueta: S370A64 |            |         | 10,80                |      |
| S370H368         | 27,80      | 8,34    | 0,30                 |      |
| Arqueta: S370A65 |            |         | 0,30                 |      |
| S370H108         | 0,50       | 0,15    | 0,15                 |      |
| S370H104         | 0,50       | 0,15    |                      |      |
| Arqueta: S370A66 |            |         | 0,15                 |      |
| S370H161         | 0,50       | 0,15    | 0,41                 |      |
| Arqueta: S370A67 |            |         | 0,41                 |      |
| S370H624         | 0,10       | 0,03    | 0,56                 |      |
| S370H619         | 0,50       | 0,15    |                      |      |
| S370H133         | 0,78       | 0,234   |                      |      |
| Arqueta: S370A68 |            |         | 0,56                 |      |
| S370H381         | 1,00       | 0,3     | 0,15                 |      |
| S370H617         | 0,88       | 0,264   |                      |      |
| Arqueta: S370A69 |            |         | 0,15                 |      |
| S370H620         | 0,50       | 0,15    | 0,89                 |      |
| Arqueta: S370A70 |            |         |                      |      |
| S370H615         | 0,40       | 0,12    |                      |      |
| S370H616         | 0,25       | 0,075   |                      |      |
| S370H614         | 0,50       | 0,15    | 15,00                |      |
| S370H627         | 0,50       | 0,15    |                      |      |
| S370H338         | 1,30       | 0,39    |                      |      |
| Arqueta: S370A76 |            |         | 15,00                |      |
| S370H625         | 50,00      | 15      | 0,45                 |      |
| Arqueta: S370A77 |            |         | 0,45                 |      |
| S370H209         | 0,50       | 0,15    |                      |      |
| S370H217         | 1,00       | 0,3     |                      |      |
| TOTAL RESERVA    | 406,90     | DEMANDA | 122,07               |      |



**ANEXO N°2:**

**DESGLOSE DE TUBERIAS DE LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN DEL SECTOR 370 DE LA CUCN**

**DESGLOSE TUBERIAS**

| <b>MATERIAL</b> | <b>Dnominal<br/>(mm)</b> | <b>TIMBRAJE<br/>(atm)</b> | <b>Dinterior<br/>(mm)</b> | <b>Rugosidad H-W<br/>(Adimensional)</b> |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---|
| PEAD            | 32                       | 10                        | 28                        | 150                                     |
| PEAD            | 32                       | 16                        | 26,2                      |   |
| PEAD            | 40                       | 10                        | 35,2                      |   |
| PEAD            | 40                       | 16                        | 32,6                      |   |
| PEAD            | 50                       | 10                        | 44                        |   |
| PEAD            | 50                       | 16                        | 40,8                      |   |
| PEAD            | 63                       | 10                        | 55,4                      |   |
| PEAD            | 63                       | 16                        | 51,4                      |   |
| PEAD            | 75                       | 10                        | 66                        |   |
| PEAD            | 75                       | 16                        | 61,4                      |   |
| PEAD            | 90                       | 10                        | 79,2                      |   |
| PEAD            | 90                       | 16                        | 73,6                      |   |
| PEAD            | 110                      | 10                        | 96,8                      |   |
| PEAD            | 110                      | 16                        | 90                        |   |
| PEAD            | 125                      | 10                        | 110,2                     |   |
| PEAD            | 125                      | 16                        | 102,2                     |   |
| PEAD            | 140                      | 10                        | 123,4                     |   |
| PEAD            | 140                      | 16                        | 114,6                     |   |
| PEAD            | 160                      | 10                        | 141                       |   |
| PEAD            | 160                      | 16                        | 130,8                     |   |
| PEAD            | 180                      | 10                        | 158,6                     |   |
| PEAD            | 180                      | 16                        | 147,2                     |   |
| PEAD            | 200                      | 10                        | 176,2                     |   |
| PEAD            | 200                      | 16                        | 163,6                     |   |
| FD              | 200                      | 20                        | 209,4                     | 140                                     |
| FD              | 250                      | 20                        | 260,4                     |   |
| FD              | 300                      | 20                        | 311,6                     |   |
| FD              | 350                      | 20                        | 362,6                     |   |
| PVC             | 200                      | 16                        | 176,2                     | 150                                     |
| PVC             | 315                      | 16                        | 277,6                     |   |
| PVC             | 400                      | 16                        | 352,6                     |   |

**ANEXO N°3:**

**PLANOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL  
SECTOR 370 DE LA CUCN**





ALUMNO:  
PEDRO ANTONIO EGGA GÓNGORA  
SITUACIÓN:  
T. M. DE MUJER (MURCIA)

TÍTULO:  
OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA  
DE RIEGO DENTRO DEL SECTOR 370 DE LA COMUNIDAD DE  
USUARIOS DE AGUAS DE LA COMARCA DE MUJER (MURCIA) MEDIANTE  
EL PROGRAMA INFORMÁTICO EPANET.

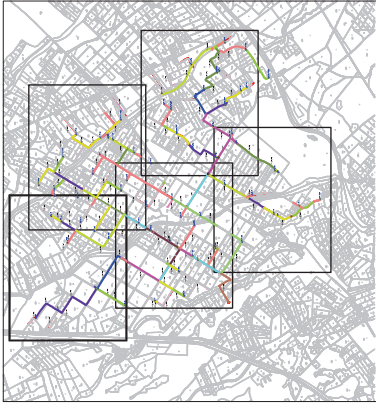
PLANO:

PLANTA DE SITUACIÓN  
SECTOR 370 "LOS MORENOS"

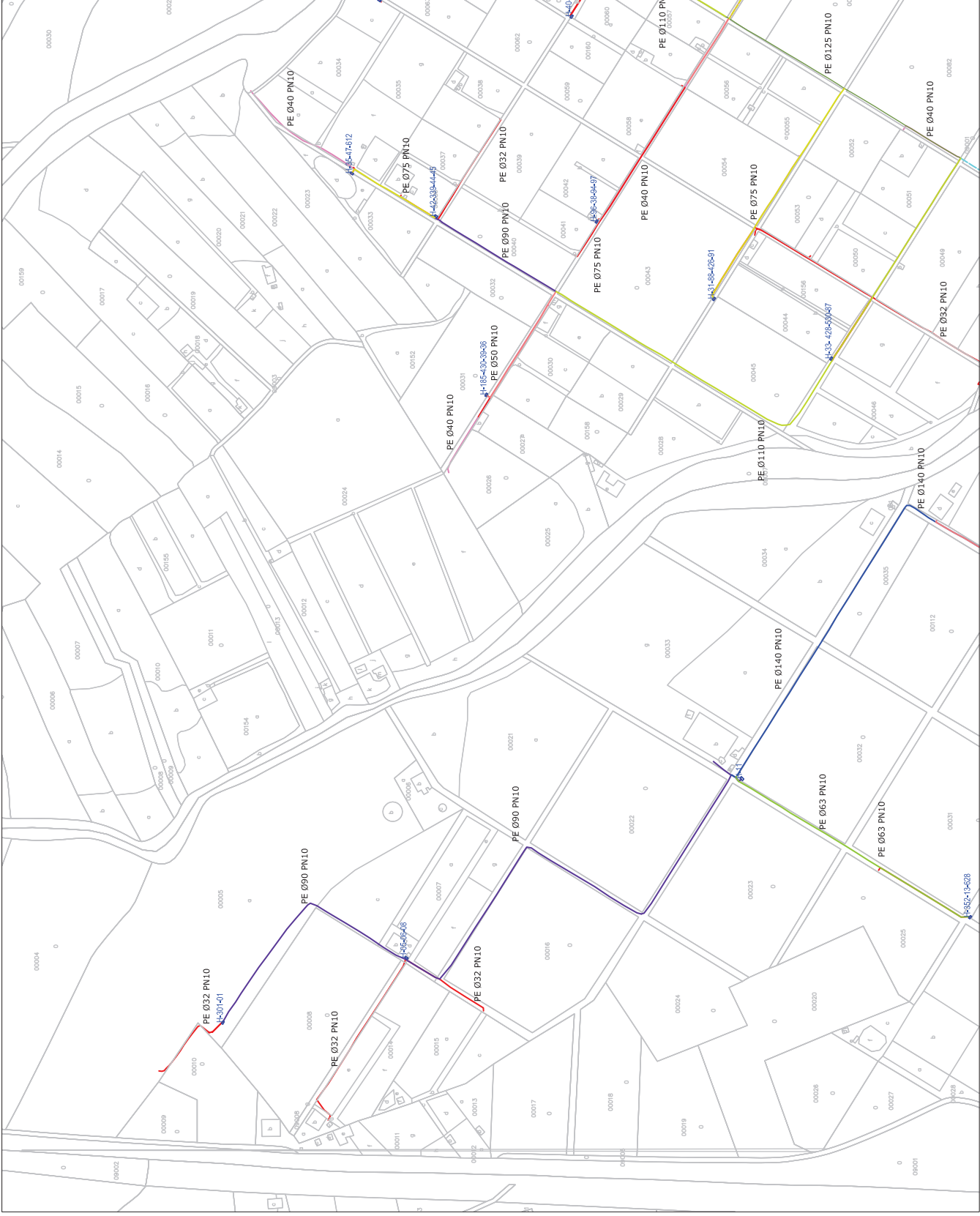
Escala:  
VARIAS  
Fecha:  
SEPT. 2013

Hoja :  
1 de 6





| FASE I/II/III |    | TIPO DE TUBERIA |  | ESTILO DE LINEA |  |
|---------------|----|-----------------|--|-----------------|--|
| DIAMETRO      | PN | MATERIAL        |  |                 |  |
| 300           | 16 | PVC             |  |                 |  |
| 300           | 18 | PVC             |  |                 |  |
| 300           | 20 | PVC             |  |                 |  |
| 300           | 20 | FUNDICION       |  |                 |  |
| 250           | 20 | FUNDICION       |  |                 |  |
| 200           | 20 | FUNDICION       |  |                 |  |
| 200           | 16 | PE              |  |                 |  |
| 200           | 18 | PE              |  |                 |  |
| 180           | 10 | PE              |  |                 |  |
| 180           | 16 | PE              |  |                 |  |
| 180           | 10 | PE              |  |                 |  |
| 140           | 10 | PE              |  |                 |  |
| 125           | 16 | PE              |  |                 |  |
| 125           | 10 | PE              |  |                 |  |
| 110           | 16 | PE              |  |                 |  |
| 110           | 10 | PE              |  |                 |  |
| 90            | 10 | PE              |  |                 |  |
| 75            | 16 | PE              |  |                 |  |
| 75            | 10 | PE              |  |                 |  |
| 63            | 16 | PE              |  |                 |  |
| 63            | 10 | PE              |  |                 |  |
| 50            | 10 | PE              |  |                 |  |
| 40            | 10 | PE              |  |                 |  |
| 40            | 16 | PE              |  |                 |  |
| 32            | 16 | PE              |  |                 |  |
| 32            | 10 | PE              |  |                 |  |

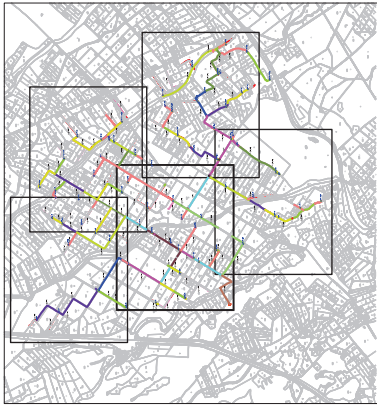


ALUMNO:  
PEDRO ANTONIO EGEA GÓNGORA  
SITUACIÓN:  
T. M. DE NIVAR (ALMERÍA)

TÍTULO:  
OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE REGO DENTRO DEL SECTOR 370 DE LA COMUNIDAD DE USUARIOS DE AGUAS DE LA COMARCA DE NIVAR (ALMERÍA) MEDIANTE EL PROGRAMA INFORMÁTICO EPANET.

PLANO:  
DEFINICIÓN DE TUBERÍAS E HIDRANTES  
SECTOR 370 "LOS MORENOS"

Escala:  
1/5000  
Fecha:  
SEPT. 2013



| FASE I/II/III |    |           | TIPO DE TUBERIA |  | ESTILO DE LINEA |  |
|---------------|----|-----------|-----------------|--|-----------------|--|
| DIAMETRO      | PN | MATERIAL  |                 |  |                 |  |
| 300           | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 250           | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 200           | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 150           | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 125           | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 100           | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 75            | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 63            | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 50            | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 40            | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 32            | 16 | PVC       |                 |  |                 |  |
| 300           | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 250           | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 200           | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 150           | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 125           | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 100           | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 75            | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 63            | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 50            | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 40            | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |
| 32            | 20 | FUNDICION |                 |  |                 |  |



ALUMNO:  
PEDRO ANTONIO EGEA GÓNGORA  
SITUACIÓN:  
T. M. DE NÍJAR (ALMERÍA)

TÍTULO:  
OPTIMIZACIÓN HIDRÁULICA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE REGO DENTRO DEL SECTOR 370 DE LA COMUNIDAD DE USUARIOS DE AGUAS DE LA COMARCA DE NÍJAR (ALMERÍA) MEDIANTE EL PROGRAMA INFORMÁTICO EPANET.

PLANO:  
DEFINICIÓN DE TUBERÍAS E HIDRANTES  
SECTOR 370 "LOS MORENOS"

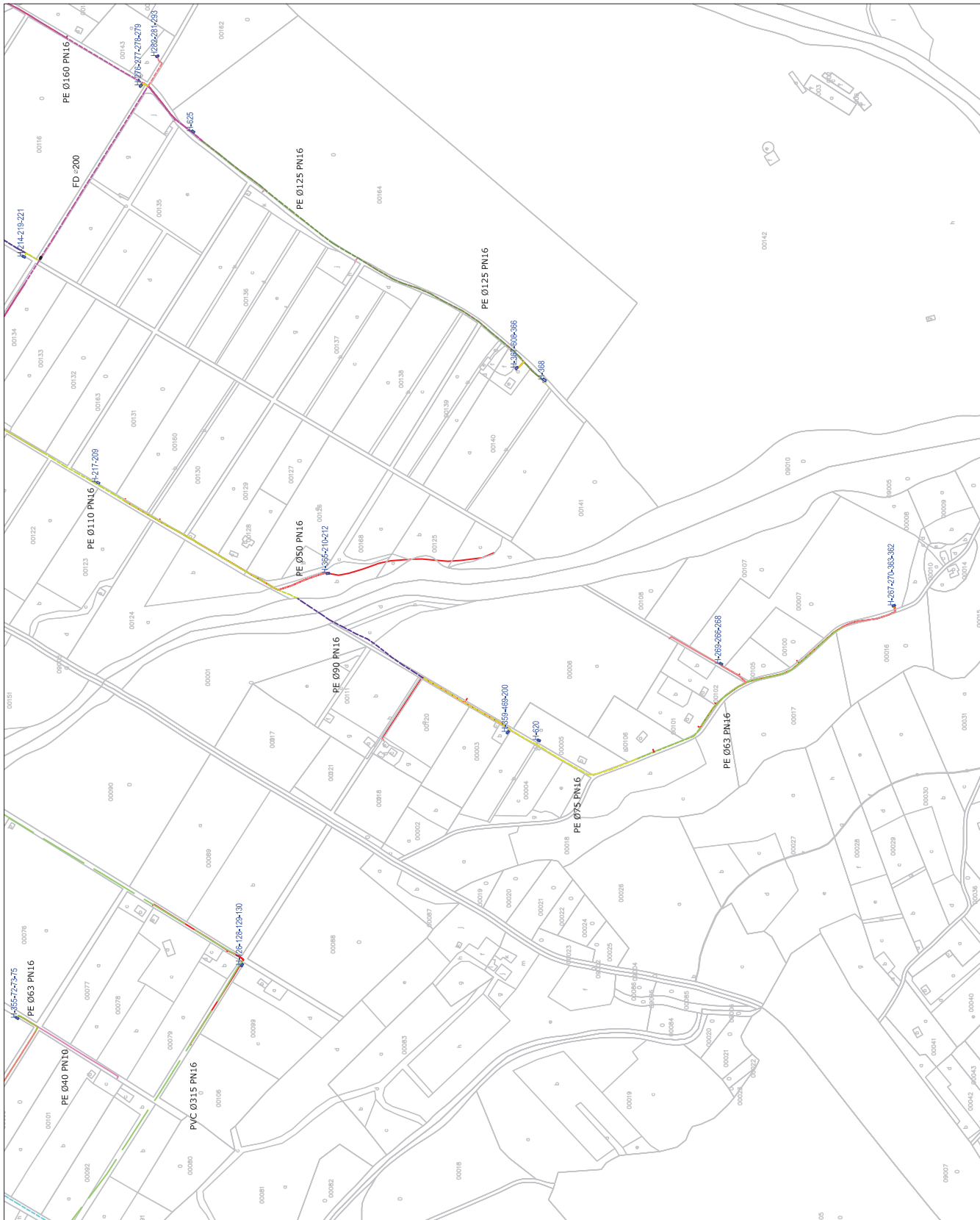
Escala:  
1/5000  
Fecha:  
SEPT. 2013

Hoja :  
3 de 6





| FASE I-II-III |    |           | TIPO DE TUBERIA |  |
|---------------|----|-----------|-----------------|--|
| DIAMETRO      | PN | MATERIAL  | ESTILO DE LINEA |  |
| 400           | 16 | PVC       |                 |  |
| 315           | 16 | PVC       |                 |  |
| 200           | 16 | PVC       |                 |  |
| 300           | 20 | FUNDICION |                 |  |
| 200           | 20 | FUNDICION |                 |  |
| 200           | 20 | FUNDICION |                 |  |
| 200           | 16 | PE        |                 |  |
| 200           | 10 | PE        |                 |  |
| 180           | 16 | PE        |                 |  |
| 180           | 10 | PE        |                 |  |
| 160           | 16 | PE        |                 |  |
| 160           | 10 | PE        |                 |  |
| 140           | 10 | PE        |                 |  |
| 125           | 16 | PE        |                 |  |
| 125           | 10 | PE        |                 |  |
| 110           | 16 | PE        |                 |  |
| 110           | 10 | PE        |                 |  |
| 90            | 16 | PE        |                 |  |
| 90            | 10 | PE        |                 |  |
| 75            | 16 | PE        |                 |  |
| 75            | 10 | PE        |                 |  |
| 63            | 16 | PE        |                 |  |
| 63            | 10 | PE        |                 |  |
| 50            | 16 | PE        |                 |  |
| 50            | 10 | PE        |                 |  |
| 40            | 16 | PE        |                 |  |
| 40            | 10 | PE        |                 |  |
| 32            | 16 | PE        |                 |  |
| 32            | 10 | PE        |                 |  |





| FASE I-II-III |    | TIPO DE TUBERIA |                 |
|---------------|----|-----------------|-----------------|
| DIAMETRO      | PN | MATERIAL        | ESTILO DE LINEA |
| 400           | 16 | PVC             |                 |
| 315           | 16 | PVC             |                 |
| 200           | 16 | PVC             |                 |
| 300           | 20 | FUNDICION       |                 |
| 250           | 20 | FUNDICION       |                 |
| 200           | 20 | FUNDICION       |                 |
| 200           | 16 | FUNDICION       |                 |
| 200           | 10 | PE              |                 |
| 180           | 16 | PE              |                 |
| 180           | 10 | PE              |                 |
| 160           | 8  | PE              |                 |
| 160           | 10 | PE              |                 |
| 140           | 16 | PE              |                 |
| 140           | 10 | PE              |                 |
| 125           | 16 | PE              |                 |
| 125           | 10 | PE              |                 |
| 110           | 16 | PE              |                 |
| 110           | 10 | PE              |                 |
| 100           | 16 | PE              |                 |
| 90            | 10 | PE              |                 |
| 90            | 10 | PE              |                 |
| 75            | 16 | PE              |                 |
| 75            | 10 | PE              |                 |
| 63            | 16 | PE              |                 |
| 50            | 10 | PE              |                 |
| 50            | 10 | PE              |                 |
| 40            | 16 | PE              |                 |
| 40            | 10 | PE              |                 |
| 40            | 10 | PE              |                 |
| 32            | 16 | PE              |                 |





| FASE I-II-III |    |           | TIPO DE TUBERIA |  |
|---------------|----|-----------|-----------------|--|
| DIAMETRO      | PN | MATERIAL  | ESTILO DE LINEA |  |
| 400           | 16 | PVC       |                 |  |
| 315           | 16 | PVC       |                 |  |
| 200           | 16 | PVC       |                 |  |
| 300           | 20 | FUNDICION |                 |  |
| 200           | 20 | FUNDICION |                 |  |
| 200           | 20 | FUNDICION |                 |  |
| 200           | 16 | PE        |                 |  |
| 200           | 10 | PE        |                 |  |
| 180           | 16 | PE        |                 |  |
| 180           | 10 | PE        |                 |  |
| 160           | 16 | PE        |                 |  |
| 160           | 10 | PE        |                 |  |
| 140           | 10 | PE        |                 |  |
| 125           | 16 | PE        |                 |  |
| 125           | 10 | PE        |                 |  |
| 110           | 16 | PE        |                 |  |
| 110           | 10 | PE        |                 |  |
| 90            | 16 | PE        |                 |  |
| 90            | 10 | PE        |                 |  |
| 75            | 16 | PE        |                 |  |
| 75            | 10 | PE        |                 |  |
| 63            | 16 | PE        |                 |  |
| 63            | 10 | PE        |                 |  |
| 50            | 16 | PE        |                 |  |
| 50            | 10 | PE        |                 |  |
| 40            | 16 | PE        |                 |  |
| 40            | 10 | PE        |                 |  |
| 32            | 16 | PE        |                 |  |
| 32            | 10 | PE        |                 |  |

